



Jussi Kokko

## **HIILIJALANJÄLKISELVITYS JA SIIHEN KÄYTETTÄVÄN OHJELMISTON VALINTA**

# **HIILIJALANJÄLKISELVITYS JA SIIHEN KÄYTETTÄVÄN OHJELMISTON VALINTA**

Jussi Kokko  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

---

Tekijä: Jussi Kokko

Opinnäytetyön nimi: Hiilijalanjälkiselvitys ja siihen käytettävän ohjelmiston valinta

Työn ohjaaja: Mikko Ylimaula

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012

Sivumäärä: 84+ 2 liitettä

---

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hiilijalanjälkeä, hiilijalanjälkiselvityksen laatimista sekä hiili- ja elinkaariohjelmistoja. Työn toimeksiantajana on WSP Finland Oy. Ympäristöselvitysten lisääntyessä WSP Finland Oy:lla oltiin kiinnostuneita uusista työkaluista hiilijalanjälkiselvitysten laadintaan sekä haluttiin kartoittaa uusia käyttökohteita hiilijalanjäljelle. Työn päätavoitteena oli löytää avaintekijät hiilijalanjälkilaskelmien suorittamiseen sekä luoda niiden pohjalta laskentaohjelmiston valintamalli. Työn tarkoituksena oli myös tutustua eri hiili- ja elinkaariohjelmistoihin, tunnistaa ohjelmistojen väliset erot sekä oppia suorittamaan hiilijalanjälkilaskelmia eri ohjelmistoilla. Lisäksi tavoitteena oli kartoittaa nykyiset ja tulevat käyttökohteet hiilijalanjäljelle teollisuuden eri toimialoilla.

Työ toteutettiin tutkimus- ja kehitystehtävänä. Tutkimuksessa kartoitettiin ja identifioitiin markkinoilla olevia hiili- ja elinkaariohjelmistoja sekä mahdollisia käyttökohteita hiilijalanjäljelle. Varsinaisen kehitystehtävän eli valintamallin laatimisen perustana taas olivat suoritettavat mallilaskelmat sekä ohjelmistojen analysointi. Työn teoriaosiossa käsiteltiin elinkaariarvioinnin teoriapohjaa, jota sovellettiin hiilijalanjälkiselvitykselle. Teoriaosan laadinnassa käytettiin myös elinkaariarvioinnin ISO 14000 -standardeja sekä alan kirjallisuuslähteitä. Ohjelmistojen tiedot kerättiin puolestaan ohjelmistojen internet-sivuilta ja käyttöoppaista.

Työssä toteutettavat mallilaskelmat suoritettiin kahvinkeittimelle, kipsilevyseinälle sekä biodieselin ja naftan tuotantolaitokselle. Parhaiten laskelmiin soveltuneeksi ohjelmistoksi nousi SimaPro. Mallilaskelmien ja ohjelmistojen analysoinnin pohjalta tunnistettiin ohjelmiston valinnan kannalta tärkeimmät ominaisuudet, joita olivat tulosten esitystapa, inventaariotietojen jäljitettävyys, ohjelmiston käytettävyys sekä mahdollisuus luoda prosessikohtaisia syötteitä ja tuotoksia. Ohjelmiston valintamalli koostui seuraavista vaiheista: toimialojen kartoitus, käyttäjäryhmien kartoitus, tarpeen jatkuvuuden tunnistaminen, vaadittavien ominaisuuksien määrittäminen, ohjelmiston yhteensopivuuden kartoittaminen sekä tarjouspyynnön laadinta. Lisäksi johtopäätöksissä korostuivat hiilijalanjälkiselvityksen toteutusvaiheet sekä selkeä raportointi.

---

Asiasanat: elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, valintakriteerit, ohjelmistot

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and production engineering, energy technology

---

Author: Jussi Kokko

Title of thesis: Carbon Footprint Report and Selection of Carbon and Life Cycle Software

Supervisor: Mikko Ylimaula

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012

Pages: 84 + 2

---

This Bachelor's thesis deals with carbon footprint reporting and carbon and life cycle software. The thesis was commissioned by WSP Finland Ltd which is a global multidisciplinary company. The topic originated from the need for efficient tools for carbon calculations and from the interest in new applications for carbon footprint. The primary objective of the thesis was to find the best practices to complete carbon footprint calculations and to create a choice of model for carbon and life cycle software. Moreover, another objective was to study different software, to perform carbon footprint calculations to customers and to identify present and future applications of the carbon footprint.

The thesis was implemented as a research and development work. The research part contained a survey and an identification of the carbon and life cycle software on the market and possible applications of the carbon footprint. The development work or the choice of model was, instead, based on the model calculations and on the analysis of the software. The theory section focused mainly on Life Cycle Assessments which were applied to carbon footprint reports. The LCA standards and literature were also used as a source in the theory section.

The model calculations were created for a coffee maker and a plasterboard wall as well as for a factory which manufactures biodiesel and naphtha. As a result of the study, the best software for carbon footprint reports proved to be SimaPro. As a conclusion of the model calculations and the analysis of the software, the most important features for a carbon and life cycle software were the presentation of the results, the transparency of the inventory analysis, the usability of the software and the possibility to create the process's own inputs and outputs. The choice of model for carbon and life cycle software consisted of the following phases: the survey of the industries, the survey of the user groups, the identification of the need's continuity, the definition of the required features, the analysis of the software's compatibility and the preparation of the request for quotation. Additionally, the phases of the carbon footprint report and the importance of the explicit reporting were emphasized on the conclusions.

---

Keywords: life cycle analysis, carbon footprint, software, selection criteria

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 HIILIJALANJÄLKISELVITYS OSANA ELINKAARIARVIOINTIA	11
2.1 Kioton pöytäkirjan määrittelemät kasvihuonekaasut	12
2.2 Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet	13
2.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	14
2.2.2 Inventaarioanalyysi (LCI)	16
2.2.3 Vaikutusarviointi (LCIA)	19
2.2.4 Tulkintavaihe	21
2.3 Hiilijalanjälkiselvityksen yleiset ohjeistukset	22
2.3.1 LCA-standardit SFS-EN ISO 14040 ja 14044	22
2.3.2 PAS 2050	23
2.3.3 GHG-protokolla	24
2.4 Ympäristöasioiden viestintä	25
2.5 Hiilijalanjäljen laskeminen hiilijalanjälkiselvityksessä	26
3 HIILI- JA ELINKAARIOHJELMISTOT	29
3.1 Vaikutusarviointimenetelmät	30
3.2 Ohjelmistojen työkalut	32
3.3 SimaPro 7.3	35
3.4 GaBi 5	36
3.5 Product Ecology	38
4 OHJELMISTOKOKEET	41
4.1 Kahvinkeitin	41
4.2 Kipsilevyseinä	47
4.3 Biodieselin ja naftan tuotantolaitos	53
5 OHJELMISTOJEN ANALYSOINTI	56
5.1 SimaPro 7.3	56
5.2 GaBi 4	58

5.3 Product Ecology	61
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VALINTAMALLI	65
6.1 Hiilijalanjäljen käyttökohteet	65
6.1.1 Yritykset ja kuluttajat	65
6.1.2 Toimialat	66
6.2 Hiilijalanjälkiselvityksen toteutus	69
6.3 Hiilijalanjälkiselvityksen raportointi	71
6.4 Hiili- ja elinkaariohjelmiston valintamalli	72
7 POHDINTA	77
LÄHTEET	80
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 GWP-päästökerrointaulukko	

## **SANASTO**

### **Global Warming Potential (GWP)**

Lämmityspotentiaalin avulla mitataan eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutuksia (1, s. 153).

### **GWP-kerroin**

GWP-kertoimen avulla eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutukset ilmoitetaan suhteutettuna hiilidioksidiin (1, s. 153).

### **Herkkyysanalyysi**

Järjestelmällinen menettelytapa, jonka avulla arvioidaan valittujen menetelmien ja lähtötietojen vaikutuksia selvityksen tuloksiin (2, s. 18).

### **Hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub> ekv)**

Hiilidioksidiekvivalentti on yhteismitta, jota käytetään kasvihuonekaasupäästöjen mittaamiseen. Eri kasvihuonekaasuista aiheutuneet päästöt muunnetaan yhteismitalliseen muotoon GWP-kertoimen avulla. (1, s. 152.)

### **ISO (International Organization for Standardization)**

Kansainvälinen standardisimisjärjestö

### **Kriittinen piste (hotspot)**

Kohta prosessissa tai tuotejärjestelmässä, jossa kulutetaan paljon resursseja ja tuotetaan paljon päästöjä.

### **LCA (Life Cycle Assessment)**

Elinkaariarvio

### **LCI (Life Cycle Inventory Analysis)**

Inventaarioanalyysi

### **LCIA (Life Cycle Impact Assessment)**

Vaikutusarviointi

**Maankäytön muutos**

Maankäytön muutoksella tarkoitetaan päästötekijää, joka aiheutuu maa- tai metsäalueen muuttamisesta maatalouskäyttöön. Tähän tekijään vaikuttavat kohdemaan lisäksi maan tuleva käyttötapa. (3, s. 28 - 29.)

**PAS (Publicly Available Specification)**

Julkisesti saatavilla oleva spesifikaatio, joka on standardia muistuttava asiakirja (4, s. 9).

**Syöte**

Prosessiin syötettävä virta. Esimerkiksi raaka-aineet tai energia. (2, s. 16.)

**Tuote**

Mikä tahansa tuote tai palvelu (5, s.14).

**Tuotejärjestelmä**

Tuotejärjestelmä kuvaa järjestelmää, jossa on sarja yksikköprosesseja. Yksikköprosessien tehtävänä on toteuttaa yhtä tai useampaa toimintoa, jotka kuvaavat tuotteen elinkaarta. (2, s. 18.)

**Tuotos**

Prosessissa syntyvä tuote, esimerkiksi päästöt tai jätteet (2, s. 18).

**Vaikutusarviointimenetelmä**

Vaikutusarviointimenetelmällä kuvataan tapaa, jolla vaikutusarviointi suoritetaan (6, s. 1).



# 1 JOHDANTO

Hiili- ja elinkaariohjelmistojen käyttö on kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana. Ympäristötietoisuuden kasvun myötä tuotteiden hiilijalanjälki, kierrätettävyyden ja ympäristövaikutukset ovat korostuneet ihmisten kulutuskäyttäytymisessä. Tämä asettaa tuotteiden valmistajille ja toimittajille uusia haasteita ympäristötietojen raportointiin ja viestimiseen. (4, s. 11.) Ympäristötietoisuus on yrityksille toimiva markkinointitapa, jolla pyritään erottumaan kilpailijoista (7, s. 5).

Hiili- ja elinkaariohjelmistojen avulla tuotteiden ympäristövaikutukset mallinnetaan luomalla malli tarkasteltavasta tuotejärjestelmästä. Mallien avulla päättäjät voivat vertailla vaihtoehtoisten tuotejärjestelmien ympäristörasituksia ja vaikutuksia. Ympäristövaikutusten mallintamisella yritys kykenee kehittämään sisäisiä toimintamallejaan ja suunnittelukäytäntöitään ympäristöystävällisemmiksi. (7, s. 16.) Hiili- ja elinkaariohjelmiston hankinta on yrityksen edistysaskel kohti ympäristöpainotteista johtamista eli ympäristöasioihin keskittymistä yrityksen toiminnassa ja päätöksenteossa. Hiili- ja elinkaariohjelmistoja pidetään myös johdon päätöksentekoa tukevana ja helpottavana työkaluna. (4, s. 11 - 12.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hiilijalanjälkeä sekä hiili- ja elinkaariohjelmita aiheen ajankohtaisuuden vuoksi. Tavoitteena on kartoittaa ne teollisuuden toimialat, joissa käytetään tai voitaisiin käyttää hiilijalanjälkeä. Lisäksi opinnäytetyössä arvioidaan nykyisiä ja tulevaisuuden käyttökohteita hiilijalanjäljelle. Työssä selvitetään myös tarkemmin kolmen eri ohjelmiston ominaisuuksia ja optimaalisia käyttösovelluksia sekä vertaillaan valittuja ohjelmistoja keskenään.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös tuoda esille parhaat käytänteet hiili- ja elinkaariohjelmiston valintaan tuotteelle, prosessille tai palvelulle. Näihin käytänteisiin pohjautuen luodaan valintamalli, jolla pyritään helpottamaan hiili- ja elinkaariohjelmiston valintaprosessia. Valintamalli kehitetään kerättyjen teoria-aineistojen sekä suoritettujen käytännön laskelmien perusteella. Lisätavoitteena tälle opinnäytetyölle on myös löytää tärkeimmät tekijät, jotka tulee huomioida hiilijalanjälkiselvityksen alkuvaiheessa. Tärkeimpien tekijöiden pohjalta luodaan

ohjeistus, jonka avulla nopeutetaan hiilijalanjälkiselvityksen käynnistämistä (liite 1).

Opinnäytetyön toimeksiantajana on WSP Finland Oy. WSP Finland Oy on kansainvälinen suunnitteluyritys, jonka tarjoamiin palveluihin kuuluvat erilaiset suunnittelu-, konsultointi- ja muotoilupalvelut. Monialaisena palveluntarjoajana WSP Finland toimii rakennus-, yhdyskunta-, liikenne-, ympäristö-, energia- ja teollisuustoimialoilla. WSP Finland kuuluu maailmanlaajuiseen WSP Groupiin, jolla on yhteensä noin 9 000 asiantuntijaa 35 eri maassa. (8.)

Yritysten ympäristötietoisuuden kasvun myötä ympäristöaiheisten suunnittelu- palveluiden kysyntä on kasvanut. Ympäristösuunnittelupalveluita tarjoavana yrityksenä WSP Finlandilla ollaan kiinnostuneita erilaisten hiili- ja elinkaariohjelmistojen tarjoamista mahdollisuuksista. Tässä opinnäytetyössä kehitetyn valintamallin avulla voidaan parhaimmillaan nopeuttaa ja helpottaa hiili- ja elinkaariohjelmiston valintaprosessia. Lisäksi työ antaa toimeksiantajalle lisätietoa valittujen ohjelmistojen ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista.

## 2 HIILIJALANJÄLKISELVITYS OSANA ELINKAARIARVIOINTIA

Hiilijalanjälki on yleistynyt käsite ihmisten ja yritysten keskuudessa. Yhä useam-  
pien tuotteen tai palvelun yhteydessä mainostetaan pienennettyä hiilijalanjäl-  
keä, tai että se on kokonaan hyvitetty. Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan jonkin tietyn  
toiminnan tai kokonaisuuden tuottamia kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä raaka-  
aineen hankinnasta tuotteen valmistukseen, jakeluun, käyttöön, käytöstä pois-  
tamiseen ja tuotteen hävittämiseen tai kierrätykseen asti (3, s. 1 - 2).

Yrityksille hiilijalanjälki on tehokas työkalu, jonka avulla voidaan selvittää ja vä-  
hentää yrityksen toiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Jotta kasvi-  
huonekaasupäästöjä voidaan vähentää, täytyy myös ymmärtää, mitä päästöt  
ovat ja mistä ne aiheutuvat. Päästöjen vähentämisen ohella hiilijalanjälki tar-  
joaa myös useita muita hyötyvaikutuksia. (3, s. 1.)

Hiilijalanjälkeä pidetään työkaluna, jonka avulla voidaan havaita mahdollisia  
säästökohteita, kuten prosesseja, jotka eivät toimi optimaalisesti. Hiilijalanjäljellä  
on myös tärkeä tehtävä toimia päättäjien päätöksenteon tukena. Päättäjät voi-  
vat perustella valintojaan vedoten pienempään hiilijalanjälkeen muun muassa  
materiaalien, suunnittelun, toimittajien ja valmistusprosessien valinnassa. Ym-  
päristövaikutusten vähentämisellä ja seurannalla yritys antaa itsestään myös  
ympäristövastuullisen kuvan. (3, s. 1.) Menetelmänä hiilijalanjälkeä voidaan  
käyttää edelleen yrityksen suorituskyvyn laskemiseen ja prioriteettien tunnistaa-  
miseen. Lisäksi ajan kuluessa hiilijalanjälki soveltuu myös edistymisen mittaa-  
miseen. (9, s. 25.)

Tietoisuus ympäristövaikutuksista on saavuttanut myös kuluttajat. Kuluttajat  
ovat yhä tietoisempia omasta toiminnastaan ympäristön hyväksi sekä huoles-  
tuneempia ympäristön säästymisestä. Kuluttajien lisääntyneen ympäristötietoi-  
suuden myötä hiilijalanjäljestä on tullut lisäksi keino vaikuttaa ihmisten ostokäyt-  
tämiseen. (9, s. 248.)

Hiilijalanjäljen laskenta on vielä suhteellisen nuori tieteenala. Vaikka kehitystä  
tapahtuu koko ajan, selvitykset ovat yleensä epäyhtenäisiä ja raportointi puut-  
teellista. Jatkuva kehitystyö on parantanut hiilijalanjäljen asemaa ympäristöindi-

kaattorina, mutta alkuvaikeuksista ei kuitenkaan olla päästy vielä eroon. Muun muassa selvitysten välistä vertailua vaikeuttavat erilaiset käytetyt menetelmät tai saman menetelmän erilaiset sovellukset. (10, s. 10 - 15, 34.)

Laskentatapojen yhtenäistämiseksi on kehitetty erilaisia kansainvälisiä ohjeistuksia ja standardeja. Seuraavassa on lueteltuna näistä muutama: ISO 14040- ja 14044 LCA -standardit, PAS 2050 ja WRI/WBCSD:n GHG-protokolla. Lisäksi tällä hetkellä on kehitteillä ISO 14067 -standardi, joka on myös tarkoitettu hiilijalanjäljen laskentaan. Ohjeistuksista ja standardeista huolimatta hyvää vertailtavuutta voi olla vaikea saavuttaa niiden yleisluontoisuuden ansiosta. (10, s. 10 - 15.) Hiilijalanjälki-ohjeistuksista on kerrottu tarkemmin luvussa 2.3.

## **2.1 Kioton pöytäkirjan määrittelemät kasvihuonekaasut**

Yhdistyneet kansakunnat (YK) laati ilmaston kasvihuonekaasuja koskevan puitesopimuksen, joka hyväksyttiin vuonna 1992 Rio de Janeirossa. Tämä puitesopimus astui voimaan vuonna 1994. Sopimuksen tärkein tavoite on ilmakehässä olevien kasvihuonekaasupitoisuuksien vakiinnuttaminen tasolle, joka ei vaaranna ilmakehää ja sen toimintaa. (11.)

Myöhemmin vuonna 1997 ilmastositopimusta täsmennettiin Kioton pöytäkirjalla. Kioton pöytäkirjaa voidaan pitää vastatoimena vuonna 1995 julkaistun IPCC:n toisen arviointiraportin faktoille. Toisessa arviointiraportissa pystyttiin ensimmäistä kertaa historiassa todentamaan ihmisen toiminnan vaikutukset ilmastoon. Kioton pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997, ja se astui voimaan vuonna 2005. (1, s. 38 - 40.)

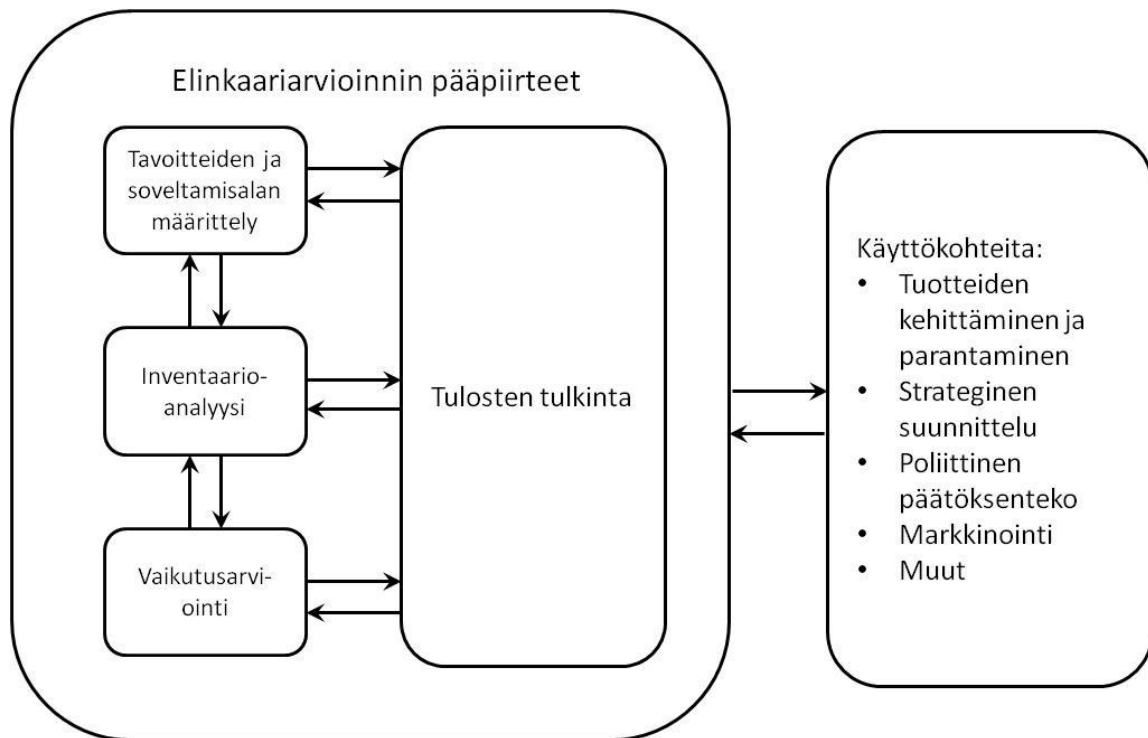
Kioton pöytäkirjassa luetellaan kuusi kasvihuonekaasua, joiden päästöjä kehittyneiden maiden tulisi vähentää. Nämä pöytäkirjan määrittelemät kasvihuonekaasut ovat seuraavat: hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), di-typpioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ), fluoratut hiilivedyt (HFC), perfluorihiiilivedyt (PFC) ja rikkiheksafluoridi ( $\text{SF}_6$ ). Lisäksi Kioton pöytäkirja asettaa sen ratifioineille maille päästörajoitusvelvoitteet. Velvoitteiden mukaan näiden maiden kasvihuonekaasupäästöt eivät saa ylittää vuoden 1990 päästöjen perusteella laskettua tasoa määrittelyllä viiden vuoden aikajaksolla 2008 - 2012. (1, s. 38 - 40.)

Vaikka ihmisen vaikutus ilmastonmuutokseen on pystytty todistamaan, eivät kaikki kehittyneet maat ole ratifioineet Kioton pöytäkirjaa. Merkittäviä Kioton pöytäkirjan ulkopuolella olevia maita ovat Yhdysvallat ja Australia. Muita pöytäkirjan ratifioimatta jättäneitä maita ovat muun muassa Kroatia, Turkki ja Irak. (1, s. 39.)

## **2.2 Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet**

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hiilijalanjälkeä ja sen laskemiseen käytettäviä ohjelmistoja. Ohjelmistot soveltuvat kuitenkin yleensä myös hiilijalanjälkeä laajempien elinkaariarvioiden (Life Cycle Assessment, LCA) laskentaan. Tässä luvussa esitetään elinkaariarvioinnin pääperiaatteet ja eri vaiheet, koska elinkaariarvioinnille määritettyjä vaiheita käytetään myös hiilijalanjälkiselvityksen laatimisessa. Hiilijalanjälkiselvitys on elinkaariarvioinnin osa, jossa huomioidaan vain ilmastovaikutukset (10, s. 9).

Kuten hiilijalanjälki, elinkaariarvointikin käsittelee tuotteen ympäristövaikutuksia ja ympäristönäkökohtia koko sen elinkaaren ajan tuotantoon hankituista raaka-aineista käyttöön, käytöstä poistamiseen ja mahdolliseen kierrätykseen ja jätteen loppusijoitukseen asti. Tämä tehdään elinkaariarvioinnissa kuitenkin hiilijalanjälkeä laajemmassa mittakaavassa. Elinkaariarvointia voidaan pitää kokonaisvaltaisena menetelmänä, jonka avulla selvitetään ja arvioidaan tuotteen tai palvelun kaikki koko elinkaaren aikaiset ympäristökuormitukset ja niiden vaikutukset. Elinkaariarvio voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyyn, inventaarioanalyysiin, vaikutusarvointiin ja tulkintavaiheeseen (kuva 1). (7, s. 2.)



KUVA 1. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet (12, s. 24)

### 2.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe, jossa luodaan koko työn kannalta merkittäviä rajoituksia ja linjavetoja. Ohjeistuksia tähän elinkaariarvioinnin vaiheeseen löytyy standardeista ISO 14040 ja ISO 14044. Tavoitteet ja soveltamisala -osiossa määritellään lähtökohdat työn toteutukselle ja selvennetään, mitä, miksi ja kenelle elinkaariarviointia ollaan tekemässä. (7, s. 21.)

Soveltamisalan määrittely selventää konkreettisesti työn laajuuden, koska sen puitteissa joudutaan päättämään raportoinnille, inventaarioanalyysille ja vaikutusarvioinnille asetetut vaatimukset. Tämän osion yhteydessä on myös päätettävä, tarvitaanko työssä erillisiä kriittisiä arviointiprosesseja sen luotettavuuden parantamiseksi. Mikäli lisäarviointiprosesseja tarvitaan, on myös päätettävä, tekeekö lisäarvioinnin sisäinen vai ulkoinen asiantuntija tai sidosryhmä. (7, s. 21.)

Kun tuotejärjestelmä ja sen toiminnot ovat selvillä, voidaan määritellä toiminnallinen yksikkö. Toiminnallisen yksikön keskeisin tehtävä on toimia vertailuyksik-

könä, johon syötteitä ja tuotoksia voidaan suhteuttaa. (12, s. 30.) Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että toiminnallinen yksikkö olisi selkeästi määritelty ja mitattavissa (2, s. 24). Toiminnallisen yksikön avulla ilmaistaan tuotteen lopullinen käyttötapa. Esimerkiksi 0,5 litraa pullovettä, 1 megawattitunti tuotettua sähköä tai yksi autopesu ovat hyviä esimerkkejä toiminnallisista yksiköistä. (3, s. 7.)

Toiminnallisen yksikön valinnassa kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota seuraaviin asioihin: mikä suure kuvaa hyvin tuotetta, palvelua tai toimintoa, mihin tuloksia halutaan verrata, mitä tulokset kertovat asiakkaalle ja mihin asiakkaat voivat tuloksia verrata (3, s. 7). Kun toiminnallinen yksikkö on tiedossa, voidaan sille määrittää vertailuvirta. Vertailuvirralla tarkoitetaan tuotteiden määrää, jolla toiminnallisen yksikön toiminta voidaan suorittaa. (12, s. 30.)

Vertailuvirran määrittelyä seuraa järjestelmän raja-  
aus. Järjestelmän rajoilla määritellään elinkaariarvioinnissa huomioitavat yksikköprosessit, joista järjestelmä muodostuu. Järjestelmän rajauksessa tulee ottaa huomioon selvityksen tavoitteet, jotta selvitys olisi niiden mukainen. Kriteerit, joita käytetään järjestelmän rajojen määrittämiseen, täytyy yksilöidä ja selventää huolellisesti. (2, s. 24.) Rajauksella säästetään elinkaariarviointiin ja hiilijalanjälkiselvitykseen käytettäviä voimavaroja rajaamalla sellaiset syötteet ja tuotokset pois, joilla ei ole suurta merkitystä lopullisten tulosten tai johtopäätösten kannalta (12, s. 32). Rajausten määrittämisessä on tärkeää, että rajaukset ovat samankaltaisia suhteessa toisiin tuotejärjestelmiin, jotta niiden vertailukelpoisuus säilyisi (7, s. 21).

Yksikköprosessien tapaan myös järjestelmään otettavat syötteet ja tuotokset täytyy määritellä. Standardi ISO 14044 määrittelee mukaan otettavien syötteiden tai tuotosten valinnan kriteereiksi massan, energian ja merkittävyyden ympäristön kannalta. Jos syötteellä tai tuotoksella on tarpeeksi suuri osa tuotteen massasta, energiasta tai päästöistä, otetaan se mukaan tarkasteluun. Järjestelmän ulkopuolelle jätetyt syötteet tai tuotokset ja niiden rajauskriteerit tulee tuoda selkeästi esille elinkaariarvioinnin tai hiilijalanjälkiselvityksen loppuraportissa. (2, s. 26.) Jos kyseessä on vertaileva selvitys, tulee näiden kolmen kriteerin olla mukana lopullisessa herkkyyssanalyysissa (7, s. 21). Herkkyyssanalyysilla

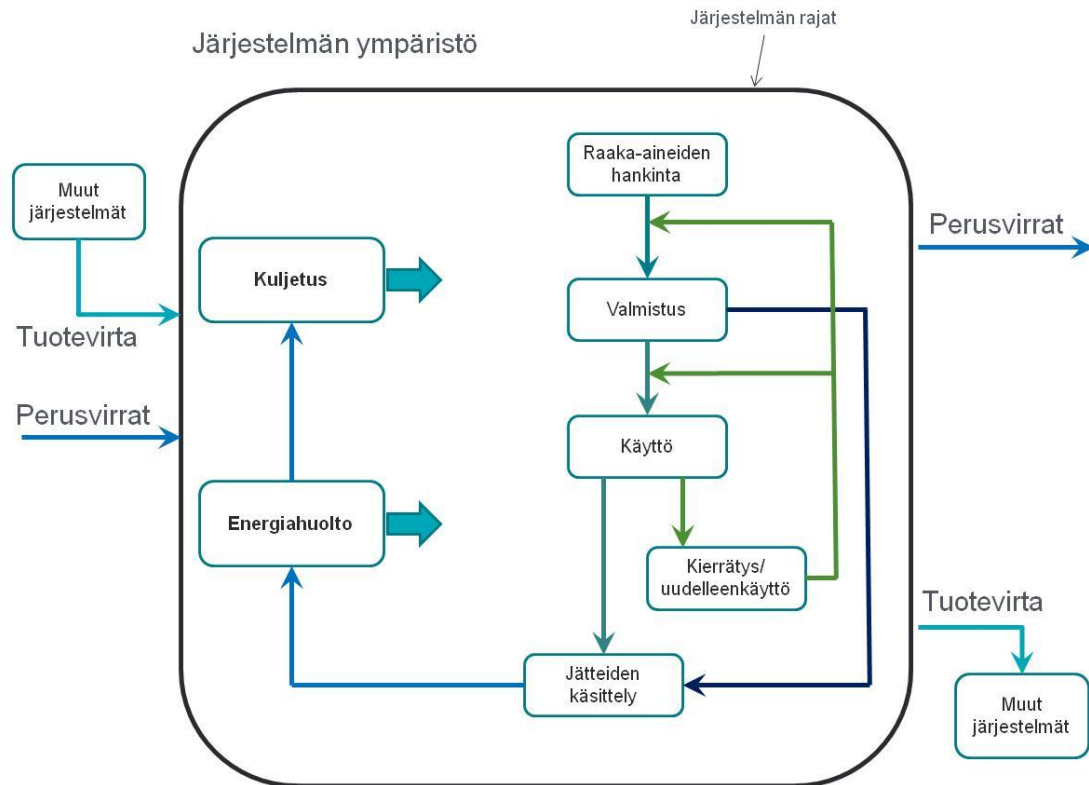
puolestaan tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla arvioidaan menetelmien ja lähtötietojen valinnan vaikutuksia tehdyn selvityksen tuloksiin (2, s. 18).

Merkittävä rajauksiin vaikuttava tekijä on tuotteen lopullinen kohderyhmä. Jos tuote myydään yritykseltä yritykselle, käytetään sanontaa ”kehdosta portille” (gradle to gate). Kehdosta portille sisältää tuotteen raaka-aineet, valmistuksen ja jakelun, mutta se ei sisällä tuotteen käyttövaihetta tai sen hävitystä tai kierrättämistä. Kun tuotteen kohderyhmänä on kuluttaja, täytyy tuotteen käyttövaihe ja hävitys tai kierrätys sen sijaan sisällyttää järjestelmään. (3, s. 10 - 11.) Tätä käyttövaiheen ja lopullisen hävittämisen sisältävää rajausta kutsutaan ”kehdosta hautaan” -rajaukseksi (gradle to grave) (2, s. 8).

### **2.2.2 Inventaarioanalyysi (LCI)**

Elinkaariarvioinnissa ja hiilijalanjälkiselvityksessä tuotteita tarkastellaan tuotejärjestelminä, joissa suoritetaan yhtä tai useampaa määriteltyä toimintoa. Tuotejärjestelmät ovat yhteydessä toisiinsa tuotejärjestelmiin tuotevirroilla ja ympäristöön perusvirroilla. Järjestelmään tulevat tuotevirrat ovat kierrätysmateriaaleja tai uudelleen käytettäviä komponentteja. (12, s. 28.) Kuvassa 2 on esitetty periaatekuvio tuotejärjestelmästä.

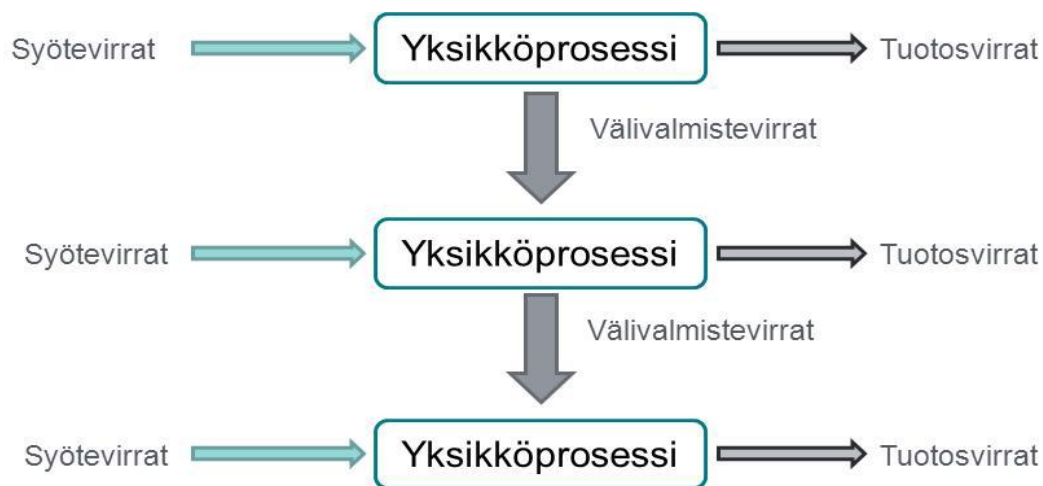




KUVA 2. Tuotejärjestelmä (12, s. 29)

Inventaarioanalyysi (LCI, Life Cycle Inventory Analysis) on tiedonkeruuvaihe, jossa kerätään määrälliset arviot ja laskelmat tuotejärjestelmän syötteistä ja tuotoksista. Tämä vaihe on yleensä selvityksen eniten voimavaroja vaativa vaihe. Standardi ISO 14040 määrittelee inventaarioanalyysissä huomioitavat asiat. (7, s. 2, 21.)

On tavanomaista, että tuotejärjestelmät jaetaan sarjaan yksikköprosesseja. Yksikköprosessit ovat kytköksissä toisiin yksikköprosesseihin välivalmistevirroilla, jätteenkäsittelyyn johtavilla virroilla tai molemmilla. Prosessiin sisään menevä perusvirta voi olla esimerkiksi raakaöljy tai auringon säteily, kun taas prosessista ulos tuleva perusvirta voi muodostua yksikköprosessissa syntyvästä päästöstä tai säteilystä. Välivalmistevirta voi puolestaan käsittää esimerkiksi osakoonpanon tai perusmateriaalin. Prosessiin tulevat ja siitä lähtevät kierrätysmateriaalit ja uudelleen käytettävät komponentit käsitellään tuotevirtoina. Kaiken kaikkiaan tuotejärjestelmän jako yksikköprosesseihin helpottaa tuotejärjestelmän syötteiden ja tuotosten tunnistamista. (12, s. 26, 28.) Kuvassa 3 on esimerkki yksikköprosessikaaviosta.



KUVA 3. Yksikköprosessikaavio (12, s. 28)

Useimmissa teollisuusprosesseissa tuotetaan useampaa kuin yhtä tuotosta tai raaka-ainesyötteiden ja tuotosten kulku ei ole suoraviivaista (12, s. 34). Kun ainevirtoja ja kuormituksia joudutaan kohdentamaan prosessin eri tuotteille, kutsutaan tätä allokoinniksi (7, s. 2). Allokointia pidetään yleensä kyseenalaisena menetelmänä, joten monet ohjeet ISO-standardien ohella kehottavat välttämään sitä. Onkin kehitetty keinoja, joilla allokointia voitaisiin välttää. Näitä keinoja ovat yksikköprosessien edelleenjako alaprosesseihin ja järjestelmän laajentaminen. Jos allokointi joudutaan kuitenkin tekemään, tulee sen käytön olla hyvin perusteltua ja dokumentoitua. (2, s. 36.)

Inventaarioanalyysi pohjautuu kerättyihin, laskettuihin tai arvioituihin lähtötietoihin, joiden perusteella määritetään tuotejärjestelmän syötteiden ja tuotosten määrät. Tiedonkeruuvaiheessa on suositeltavaa luokitella kerätyt tiedot tiettyjen otsikoiden alle. Lähtötiedot voidaan luokitella esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- raaka-ainesyötteet
- energiasyötteet
- apusyötteet
- muut fysikaaliset syötteet ja tuotteet
- päästöt veteen, päästöt ilmaan, päästöt maahan, muut ympäristönäkökohdat. (12, s. 34.)

Jotta tietyn toimen ympäristövaikutukset voidaan laskea, täytyy toimen lähtötiedot ja päästökertoimet olla saatavilla. Päästökertoimien avulla lähtötiedot

muunnetaan päästöiksi. Lähtö- ja päästökerrointiedot voidaan jakaa kahteen ryhmään lähteiden perusteella. Laskelmassa käytetyt tiedot voivat olla joko primääri- tai sekundäärilähteistä. Primäärilähde käsittää suoraan selvityksen kohteesta mitattuja tietoja. Sekundäärilähde puolestaan on tavanomaisesti tietokannasta poimittuja keskiarvoja tai samankaltaisista kohteista mitattuja tietoja. Tietoa, joka on kerätty primäärilähteistä, tulisi käyttää ensisijaisesti, jotta laskelmat vastaisivat todellisuutta. (3, s. 16 - 17.)

PAS 2050 -ohjeistuksen mukaan tuotejärjestelmän tarkasteluun voidaan soveltaa massatasapainoperiaatetta. Tämä on hyödyllinen tapa tarkistaa, että kaikki syötteet on otettu huomioon laskelmissa. Massatasapaino tarkoittaa syötteiden ja tuotosten massojen tasapainoa. Järjestelmään saapuvien ja järjestelmästä lähtevien yhteenlaskettujen massojen tulisi olla samat. Esimerkiksi, jos tuotoksen massa on pienempi kuin syötteiden massa, voidaan olettaa, että jotain on jäänyt huomioimatta. Tämän menettelyn avulla voidaan havaita muuten vaikeasti havaittavia virtoja. (3, s. 20.)

Inventaariotietoja kerätessä tulee myös ottaa huomioon, että inventaarionalyysi on iteratiivinen prosessi (12, s. 32). Tietojen keräyksessä voidaan havaita uusia tai puuttuvia tietotarpeita, rajoitteita tai rajoituksia. Nämä havainnot voivat johtaa elinkaariarvioinnin tai hiilijalanjälkiselvityksen ensimmäisessä vaiheessa tehtyjen tavoitteiden tai soveltamisalaa koskevien rajausten ja määrittelyjen uudelleenasetteluun. (7, s. 21.)

### **2.2.3 Vaikutusarviointi (LCIA)**

Vaikutusarvioinnilla arvioidaan potentiaalisten ympäristövaikutteiden merkitystä inventaarioanalyysissä saatujen tulosten avulla. Jotta tuloksia ymmärrettäisiin paremmin, yhdistetään inventaariotiedot ympäristövaikutusluokkiin ja vaikutusluokkaindikaattoreihin. Tästä elinkaariarvioinnin tai hiilijalanjälkiselvityksen vaiheesta saatuja tietoja käytetään tulosten tulkintavaiheessa. (12, s. 34.)

Vaikutusarviointi on suhteellinen lähestymistapa, joka perustuu toiminnalliseen yksikköön. Menetelmänä se eroaa muista tekniikoista, kuten ympäristövaikutusarvioinnista, riskiarvioinnista ja ympäristösuorituskyvyn arvioinnista. Toisaal-

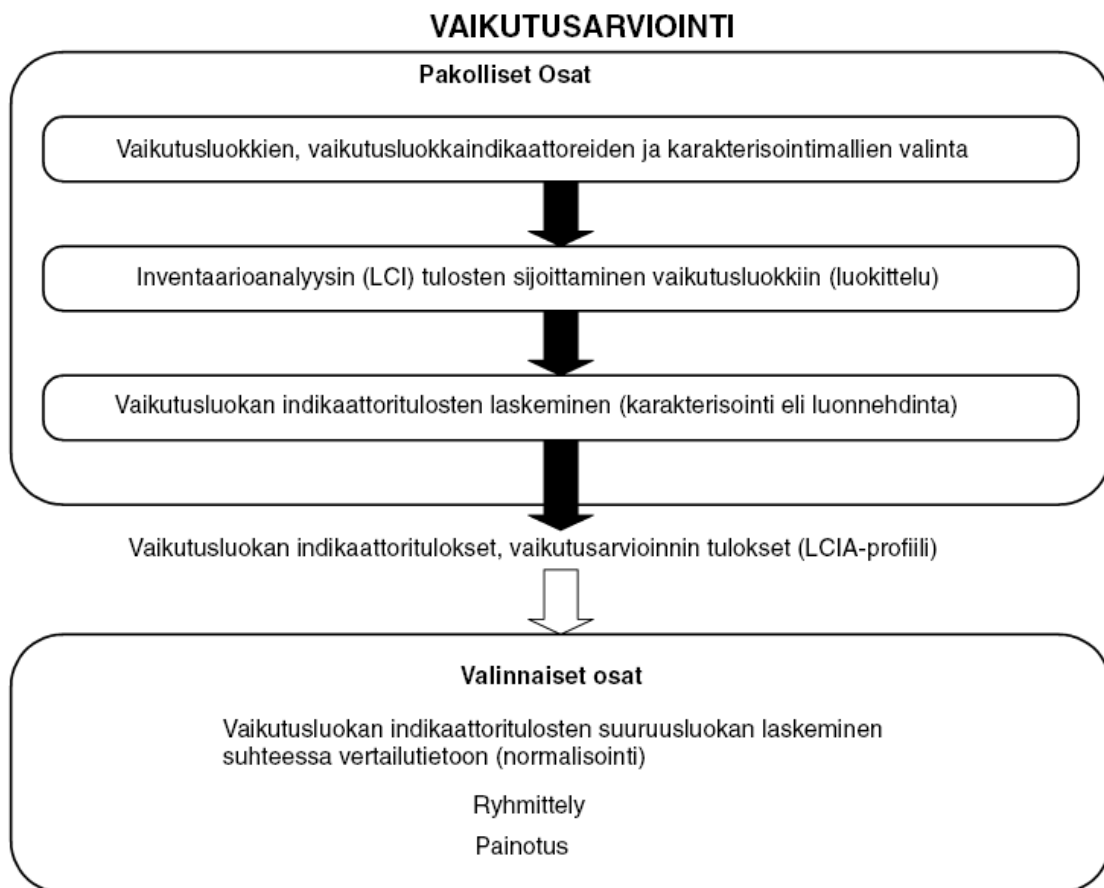
ta edellä mainittujen tekniikoiden avulla kerättyä tietoa voidaan käyttää hyväksi vaikutusarvioinnin laadinnassa. Standardissa SFS-EN ISO 14044 määrittää vaikutusarvioinnin pakolliset ja vaihtoehtoiset vaiheet. Standardissa pakolliset vaiheet on määritelty siten, että ensimmäisessä vaiheessa valitaan vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit. (2, s. 40, 42.)

Vaikutusluokalla kuvastetaan tarkasteltavan tuotejärjestelmän ympäristökysymyksiä, kuten esimerkiksi ilmaan vapautuvia päästöjä, kun taas vaikutusluokkaindikaattori toimii vaikutusluokkaa edustavana määrällisenä mittarina. Esimerkkinä vaikutusluokkaindikaattorista voisi olla vapautuvat kasvihuonekaasupäästöt. Edelleen karakterisointimallista saadaan kertoimet, joilla inventaarioanalyysin tulokset voidaan muuntaa vaikutusluokkaindikaattorille yhteiseen yksikköön. (2, s. 20.)

Vaikutusarvioinnin toisessa pakollisessa vaiheessa suoritetaan luokittelu, eli inventaarioanalyysin tulokset sijoitetaan vaikutusluokkiin. Viimeinen vaihe sisältää vaikutusluokkien indikaattoritulosten laskennan. Lisäksi vaikutusarviointiin voidaan myös tarvittaessa lisätä vapaaehtoisia osia. Edellytyksenä vapaaehtoisten osien käytölle on se, että niiden täytyy olla yhdenmukaisia tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. (2, s. 42, 50.)

Vapaaehtoiset osat voidaan jakaa neljään ryhmään: normalisointi, ryhmittely, painotus ja lähtötietojen laadun arviointi. Normalisointi käsittää vaikutusluokkien indikaattoritulosten suhteellisen suuruuden laskemista vertailutietoon nähden. Ryhmittelyssä vaikutusluokat lajitellaan tai asetetaan tärkeysjärjestykseen. Painotuksen tavoitteena on puolestaan muuntaa ja mahdollisesti yhdistää indikaattoritulokset vaikutusluokkiin käyttäen hyväksi arvovalintoihin pohjautuvia numeroarvoja. Arvioimalla lähtötietojen laatua saadaan hyvä käsitys niiden luotettavuudesta. (2, s. 50.)

Vaikutusarvioinnin tuloksissa on huomioitava se, että vaikutusarviointi käsittelee vain tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelemiä ympäristökysymyksiä. Tämän ansiosta vaikutusarvioinnissa ei arvioida tarkasti kaikkia tarkastelun kohteena olevan tuotejärjestelmän ympäristökysymyksiä. (12, s. 38.) Kuvassa 4 on havainnollistettu vaikutusarvioinnin pakollisia ja vaihtoehtoisia vaiheita.



*KUVA 4. Vaikutusarvioinnin eri vaiheet (12, s. 36)*

## 2.2.4 Tulkintavaihe

Tulkintavaiheessa inventaarioanalyysistä ja vaikutusarvioinnista saatuja tuloksia arvioidaan yhdessä. Tämän vaiheen tavoitteena on tuottaa tuloksia, joiden pohjalta kyetään tekemään johtopäätöksiä, selventämään rajauksia ja esittämään rajoituksia. Tulosten tulisi olla määriteltujen tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisia. (12, s. 39.)

Tulosten tulkintavaihe voidaan jäsentää kolmeen eri osa-alueeseen. Ensimmäisenä tunnistetaan elinkaariarvioinnin, inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin kannalta merkittävät asiat, kuten seuraavat inventaariotiedot: energia, jätteet ja päästöt. Toinen osa-alue koostuu arvioinnin täydellisyydestä ja herkkyydestä. Tähän osa-alueeseen voidaan lukea myös johdonmukaisuuden tarkistus. Täydellisyyttä tarkistettaessa varmistetaan, että tulosten tulkintaan tarvittava informaatio ja lähtötiedot ovat saatavilla, ja että se on riittävää. Johdonmukaisuuden

tarkistamisella tarkoitetaan olettamusten, menetelmien ja lähtötietojen yhdenmukaisuuden tarkistamista tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. (2, s. 54 - 62.)

Kolmannessa ja viimeisessä osa-alueessa pyritään tekemään johtopäätöksiä, tunnistamaan rajoituksia ja antamaan suosituksia elinkaariarvioinnin tai hiilijalanjälkiselvityksen kohderyhmälle. Johtopäätökset tulisi tehdä iteratiivisesti yhdessä tulosten tulkintavaiheen ja muiden osioiden kanssa. Suositusten tulisi pohjautua lopullisiin johtopäätöksiin ja kuvastaa niiden loogisia ja järjenmukaisia seuraamuksia. (2, s. 62.)

## **2.3 Hiilijalanjälkiselvityksen yleiset ohjeistukset**

Hiilijalanjälkiselvitysten yleistyessä on niiden laadintaan kehitetty laaja joukko erilaisia standardeja ja ohjeistuksia. Useat näistä standardeista ja ohjeistuksista ovat kansainvälisiä ja monelle eri toimialalle soveltuvia. Yleisluontoisuuden johdosta standardit ja ohjeistukset antavat paljon vapauksia ja toisistaan poikkeavia ohjeita. Tämä on johtanut siihen, että eri standardeilla toteutettuja laskelmia on vaikea vertailla, ja niiden välillä on paljon ristiriitoja muun muassa allokoinnin suhteen. (10, s. 10.) Koska hiilijalanjälkiselvityksiin on olemassa paljon erilaisia ohjeistuksia, on tässä opinnäytetyössä esitelty vain seuraavat merkittävimmät hiilijalanjälkiselvitysten ohjeistukset: ISO 14040 ja 14044 LCA-standardit, PAS 2050 ja GHG-protokolla.

Yleisluontoisuudestaan johtuen standardit ja ohjeistukset käyttävät hyväkseen tuoteryhmäkohtaisia tarkempia ohjeistuksia (Product Category Rules, PRC). Tuoteryhmäkohtaiset ohjeistukset ovat eri maiden luomia, omia tarkentavia ohjeistuksiaan, jotka on laadittu toisistaan eroavin tavoin. Näiden ohjeistusten ongelmana kuitenkin ovat niiden keskinäiset päällekkäisyydet ja yhteensopivuusongelmat eri maiden välillä. Lisäksi mikään taho tai järjestö ei valvo tuoteryhmäkohtaisten ohjeistusten laatua, joten niiden käyttö on kyseenalaista. (10, s. 10.)

### **2.3.1 LCA-standardit SFS-EN ISO 14040 ja 14044**

SFS-EN ISO 14040 ja 14044 -standardeja pidetään ensimmäisinä elinkaariarviointia ohjeistavina standardeina. ISO (International Organization for Standardi-

zation) julkaisi ensimmäiset elinkaariarviointia käsittelevät standardit vuonna 1997, jonka jälkeen ne on päivitetty nykyiseen muotoonsa. (10, s. 6.) ISO 14040 -standardi käsittelee elinkaariarvioinnin pääperiaatteita ja piirteitä, kun taas ISO 14044 selvittää sen vaatimukset ja suuntaviivat (4, s.16).

Tällä hetkellä ISO-järjestöllä on kehitteillä myös tuotekohtainen hiilijalanjäljen laskentaa käsittelevä ISO 14067 -standardi, joka pohjautuu elinkaariarvioinnin standardeihin. Standardissa huomioidaan maankäytön muutoksista aiheutuvat vaikutukset ja uusiutuvan energian käyttö, jolloin se on yhteneväinen PAS 2050 -ohjeistuksen kanssa. Standardin on arvioitu valmistuvan vuonna 2012. (10, s. 10,13.) Standardin on määrä koostua kahdesta osasta. Ensimmäinen osa käsittelee hiilijalanjäljen laskemista, kun taas toisessa osassa opastetaan hiilijalanjäljen viestintää. (13, s. 5.)

### **2.3.2 PAS 2050**

PAS 2050 julkaistiin vuonna 1998, ja se oli silloin aikansa ensimmäinen kansainvälinen ohjeistus tuotteiden ja palveluiden hiilijalanjäljen laskentaan. Ohjeen päärahoittajana olivat Carbontrust (englantilainen voittoa tavoittelematon järjestö) ja Iso-Britannian ministeriöosasto Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs). Itse ohjeistuksen laatimisesta vastasi Iso-Britannian standardointi-instituutti. (10, s. 13.)

PAS 2050 -ohjeistuksessa sallitaan merkityksettömien päästöjen rajaaminen laskennan ulkopuolelle. Rajausta voidaan suorittaa, jos rajattavan päästön osuus kokonaishiilijalanjäljestä on alle yhden prosenttiyksikön. Jos rajattavia päästöjä on useampia, päästöjen yhteenlaskettu osuus hiilijalanjäljestä ei saa ylittää viittä prosenttiyksikköä. PAS 2050 -ohjeistuksen mukaan hiilijalanjäljen laskennassa on noudatettava IPCC GWP 100a -vaikutusarviointimenetelmää. (3, s. 14, 20.) Kyseinen vaikutusarviointimenetelmä on kuvattu tarkemmin ohjelmistojen vaikutusarviointimenetelmien yhteydessä luvussa 3.

PAS 2050 on osittain poikkeava ohjeistus verrattuna muihin hiilijalanjälkiselvityksen ohjeistuksiin. Allokoinnissa ohjeistus on samalla linjalla muiden ohjeistusten kanssa eli pääsääntöisesti sitä tulisi välttää. Jos allokointi on pakollista,

PAS 2050 tarjoaa ainoaksi allokoinnin menetelmäksi taloudellisiin arvoihin perustuvan allokoinnin. Tämän lisäksi ohjeistus vaatii kuluttajavaiheen mukaan lukemisen laskentaan. PAS 2050 asettaa vaatimukseksi myös suorasta maankäytöstä aiheutuvien vaikutusten arvioinnin. Nämä vaikutukset tulee sisällyttää laskelmiin IPCC:n määrittelemällä laskentatavalla. (10, s. 13.)

### **2.3.3 GHG-protokolla**

GHG-protokolla (Greenhouse Gas Protocol) on kansainvälinen laajalti käytetty valtioille ja yrityksille suunnattu kasvihuonekaasujen laskenta-apuväline. Tämä apuväline auttaa asiakkaita ymmärtämään kasvihuonekaasuja ja mahdollistaa niiden määrittämisen ja hallinnan. GHG-protokolla on kahden suuren järjestön WRI:n (World Resources Institute) ja WBCSD:n (World Business Council for Sustainable Development) yhteistyön tulos, ja se perustettiin vuonna 1998. (14.)

GHG-protokolla on kehittänyt laajan valikoiman erilaisia työkaluja kasvihuonekaasujen laskentaan useille eri teollisuuden aloille. Laskentatyökalut ovat joko yleisluontoisia tai tarkasti tiettyyn prosessiin suunnattuja. Tuotekohtaisia työkaluja on kehitetty muun muassa teräs-, alumiini-, sementti-, paperi-, ja sellutuotteille. (14, linkit→Calculation tools→All tools.)

Laskentatyökalujen lisäksi GHG-protokolla on julkaissut kasvihuonekaasujen laskentaan liittyviä standardeja. Standardit on jaettu kahteen pääryhmään. Ensimmäisen pääryhmän standardit on suunnattu yrityksille ja organisaatioille. Niissä määritellään keinot kasvihuonekaasupäästötietojen keräämiseen ja niiden raportoimiseen. Standardit soveltuvat sekä julkiselle että yksityiselle sektorille. (14, linkit→Standards→Standards Overview.)

Ensimmäisen pääryhmän standardit toimivat yhteneväisesti laskentatyökalujen kanssa muodostaen yhtenäisen järjestelmän, jonka avulla yritykset ja organisaatiot voivat määrittää toiminnastaan aiheutuvat kasvihuonekaasut. Toisen pääryhmän standardit taas on suunnattu kasvihuonekaasupäästöjä vähentäville projekteille. Standardit tarjoavat menetelmästä riippumattoman työkalun, jolla voidaan määrittää kasvihuonekaasuja vähentävillä projekteilla saavutetut päästöjen vähennykset. (14, linkit→Standards→Standard Overview.)



## 2.4 Ympäristöasioiden viestintä

Koska uusien standardien kehitys on ollut hidasta, on hiilijalanjälkiselvityksiä tehty toisistaan poikkeavin ohjeistuksin. Eri ohjeistukset antavat myös toisistaan poikkeavia tapoja viestiä ympäristöasioiden huomioimisesta asiakkaille. Yleisesti käytetyksi viestintätavaksi ovatkin nousseet erilaiset ympäristömerkit. (9, s. 3 - 4.)

Ympäristömerkki on ulkopuolisen tahon myöntämä merkki, jolla viestitään tuotteen ympäristöasioiden huomioinnista. Merkintöjä myöntävät tahot toimivat joko kansainvälisesti tai maakohtaisesti. (10, s. 19 - 20.) Ympäristömerkit antavat puolueetonta tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista. Ympäristömerkillä varustettujen tuotteiden on täytettävä myönnetyn ympäristömerkin vaatimat kriteerit. Merkit ovat määräaikaista, ja merkin myöntäneet tahot valvovat kriteerien säilyttämistä merkin myöntämisen jälkeenkin. Esimerkiksi pohjoismaissa tunnettu ympäristömerkki on *Joutsenmerkki*, kun taas Euroopassa tunnettu ympäristömerkki on muun muassa *Kukkamerkki* (*EU Ecolabel*). (15, haku→ympäristömerkki→hakutulos→Ympäristömerkit.)

Ympäristömerkintöjen kattavuudet ovat merkkikohtaisia. Osa ympäristömerkeistä on suunnattu kuvaamaan vain yhtä ympäristötekijää. Esimerkiksi tuotteiden hiilijalanjäljen kertovaa merkkiä kutsutaan *hiilimerkinnäksi*. Hiilimerkintä ilmoittaa tuotekohtaisen hiilijalanjäljen suhteutettuna tuotteen toiminnalliseen yksikköön. Esimerkiksi 200 grammaa tuotetta aiheuttaa 86 grammaa CO<sub>2</sub> ekv-päästöjä. Merkinnässä esitetään tuotteen hiilijalanjälki joko numeerisena, visuaalisesti tai molemmin tavoin. Muun muassa vihreällä värillä kuvataan pientä hiilijalanjälkeä. (10, s. 20 - 22.)

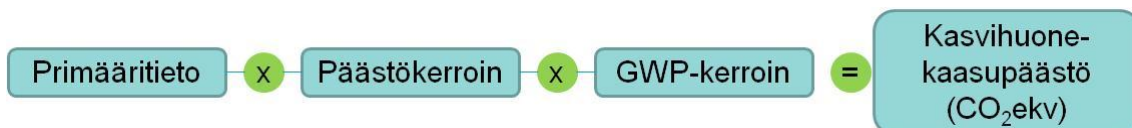
Visuaalinen merkintätapa on yleinen viestintätapa ympäristömerkeissä, kuten myös *energiamerkissä*. Energiamerkki on energiankulutuksesta kertova ympäristömerkki, joka jakaa tuotteet luokkiin niiden energiankulutuksen perusteella. Energiamerkki on asetettu pakolliseksi useille kodinkoneille, kuten kylmälaitteille, kuivausrummuille, pyykinpesukoneille sekä astianpesukoneille. Merkinnän tavoitteena on ohjata kuluttajia ostamaan vähemmän energiaa kuluttavia laitteita. (15, haku→ympäristömerkki→hakutulos→Ympäristömerkit.)

Päästöjen vähennys ei ole ainoa keino, jolla yritykset voivat saada tunnustusta ympäristöystävällisyydestä. Yrityksiä ohjataan kompensoimaan aiheutettuja päästöjä *hiilineutraalimerkin* avulla. Hiilineutraalimerkillä yritys voi viestiä tehneensä parannuksia ympäristön hyväksi, jotka eivät välttämättä liity suoranaisesti yrityksen tuotteisiin tai palveluihin. (10, s. 24.) Muita yrityksen ympäristön huomioimisesta tai eettisistä arvoista viestiviä tuotemerkintöjä ovat muun muassa myös Luomu-, EU:n luomu-, Norppaenergia- ja Reilun kaupan merkki (15, haku→ympäristömerkki→hakutulos→Ympäristömerkit).

## 2.5 Hiilijalanjäljen laskeminen hiilijalanjälkiselvityksessä

Hiilijalanjälki on käytännöllinen tapa, jolla kasvihuonekaasupäästöt voidaan esittää yhdellä numeerisella arvolla. Hiilijalanjäljen vertailukohtana toimii hiilidioksidi, johon muita kasvihuonekaasuja suhteutetaan GWP-kertoimen avulla. Hiilijalanjäljen yksikkönä toimii massayksikkö hiilidioksidiekvivalenttia. (9, s. 251.) Esimerkiksi liitteenä 2 olevan taulukon mukaan yksi kilogramma di-typpioksidia vastaa 298 kilogrammaa hiilidioksidia sadan vuoden tarkasteluajanjaksolla, ja tämän muunnoksen yksikkö on kg CO<sub>2</sub>ekv.

Riippumatta soveltamisalasta tai tavoitteista, hiilijalanjäljen laskeminen noudattaa aina samanlaista kaavaa. Inventaarioanalyysissä kerätty lähtötieto kerrotaan tietokohtaisella päästökertoimella. Tästä saatu tulos kertoo, paljonko kasvihuonekaasupäästöjä kyseisen lähtötiedon kuvaama toimi aiheuttaa. Jotta tuloksesta saadaan kyseisen toimen aiheuttama hiilijalanjälki, täytyy se kertoa edelleen GWP-päästökertoimella (Kuva 5). (9, s. 251.)



KUVA 5. Hiilijalanjäljen laskentakaavio (9, s. 251)

Seuraavassa esimerkissä on laskettu 200 kilometrin automatkasta aiheutuva hiilijalanjälki päästöiltään keskimääräiselle bensiiniautolle. Oletetaan, että matka tehdään maantieajona yhtäjaksoisesti pysähtymättä. Lisäksi rajataan laskelma koskemaan vain polttoaineen kulutuksesta aiheutuvia päästöjä. Taulukossa 1

on esitetty VTT:n Lipasto-päästölaskentajärjestelmästä saadut maantieajossa syntyvät päästöt keskimääräiselle bensiiniautolle.

*TAULUKKO 1. Keskimääräiset bensiiniauton päästöt maantieajolle (16)*

Päästö	(g/km)
Hiilimonoksidi (CO)	1,9
Hiilivedyt (HC)	0,013
Typpioksidit (NO <sub>x</sub> )	0,04
Partikkelit (PM)	0,004
Metaani (CH <sub>4</sub> )	0,0062
Di-typpioksidi (N <sub>2</sub> O)	0,0028
Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )	0,038
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	0,00088
Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	172

Laskelmassa noudatetaan PAS 2050 -ohjeistusta. Ohjeistuksen mukaan laskelmassa otetaan huomioon vain Kioton pöytäkirjassa määritetyt kasvihuonekaasut (10, s. 2). Tässä tapauksessa huomioitavat kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi, metaani ja di-typpioksidi. Taulukossa 2 on laskettu automatkan hiilijalanjälki kaavan 1 mukaisesti kertomalla lähtötieto päästökertoimella ja edelleen GWP-kertoimella. Koska GWP-kertoimet ovat yksilöllisiä eri kasvihuonekaasujen välillä, jokaiselle kasvihuonekaasulle täytyy suorittaa laskelma erikseen kaavan 1 mukaisesti.

$$P_{\text{Primääritieto}} \cdot K_{\text{päästökerroin}} \cdot X_{\text{GWP-kerroin}} = Y$$

KAAVA 1

$P_{\text{Primääritieto}}$  = toimen lähtötieto

$K_{\text{päästökerroin}}$  = toimikohtainen päästökerroin

$X_{\text{GWP-kerroin}}$  = kasvihuonekaasukohtainen painoarvokerroin

Y = toimen aiheuttama kasvihuonekaasupäästö (CO<sub>2</sub>ekv)

TAULUKKO 2. Esimerkki hiilijalanjäljen laskemisesta

Primääritieto		Päästökerroin		GWP-kerroin		Kasvihuonekaasupäästöt (g CO <sub>2</sub> ekv)
200	km	x	172 g CO <sub>2</sub> /km	x	1	34 400
200	km	x	0,0062 g CH <sub>4</sub> /km	x	25	31
200	km	x	0,0028 g N <sub>2</sub> O/km	x	298	166,88
						34597,88

Laskelmassa 200 kilometrin autamatkan hiilijalanjäljeksi saadaan 34,6 kg CO<sub>2</sub> ekv. Seuraavaksi valitaan toiminnalliseksi yksiköksi yksi autolla ajettu kilometri. Sitten voidaan laskea toiminnallisen yksikön aiheuttama hiilijalanjälki. Tämä saadaan jakamalla edellä laskettu hiilijalanjälki 200 kilometrin matkalla, jolloin saadaan yhden kilometrin ajomatkasta syntyvä hiilijalanjälki.

$$\frac{34,597 \text{ kg CO}_2\text{ekv}}{200 \text{ km}} = 0,173 \text{ kg CO}_2\text{ekv/km}$$

Hiilijalanjäljen suhteuttaminen toiminnalliseen yksikköön helpottaa tuloksen käsittelyä ja mahdollistaa tuloksen jatkokäytön. Saadun tuloksen avulla voidaan laskea edelleen esimerkiksi 350 kilometrin maantieajosta aiheutuva hiilijalanjälki bensiinikäyttöiselle autolle. Tämä saadaan kertomalla toiminnallisen yksikön aiheuttama hiilijalanjälki uudella 350 kilometrin matkalla.

$$0,173 \text{ kg CO}_2\text{ekv/km} \cdot 350 \text{ km} = 60,6 \text{ kg CO}_2\text{ekv}$$

### 3 HIILI- JA ELINKAARIOHJELMISTOT

Hiili- ja elinkaariohjelmistot tunnetaan myös usein nimellä LCA- eli elinkaariarviointiohjelmistot. Nämä ohjelmistot on kehitetty nopeuttamaan ja helpottamaan elinkaariarviointien ja muiden ympäristöselvitysten laadintaa. Ohjelmistojen kehityksen myötä ne soveltuvat yhä useammille elinkaariarviointien osa-alueille, kuten mallintamiseen, laskemiseen, tulosten arvioimiseen ja raportoimiseen. Elinkaarimallintamisen ohessa kehittyneimmillä ohjelmistoilla voidaan suorittaa ympäristöhallintamenetelmiä, kuten elinkaaren hallintaa (Life Cycle Management, LCM), elinkaarikustannuslaskentaa (Life Cycle Costing, LCC) ja ympäristöpainotteista tuotesuunnittelua (Design for Environment, DfE). (4, s. 22 - 23.) Eri ohjelmistojen käyttämiä työkaluja on esitelty tarkemmin luvussa 3.2.

Yhä useamassa hiili- ja elinkaariohjelmistossa käytetään tiedonkeruuseen tai tietojen täydentämiseen yhtä tai useampaa tietokantaa. Tietokannat ovat hyödyllinen apuväline, sillä ne sisältävät runsaasti erilaisia inventaario- ja vaikutusarviointitietoja. Tietokannoista voidaankin kerätä ja täydentää elinkaariarvioinneissa tarvittavia tietoja, jolloin nopeutetaan elinkaariarvioinnin laadintaa. (4, s. 21 - 23.) Koska elinkaariarvioinnin laatu on suoraan verrannollinen arvioinnissa käytettyjen tietojen laatuun, on tärkeää, että tarkasteluissa käytetyt tiedot ovat luotettavia ja oikeellisia. Tietokannat sisältävät laajalti hyväksytyjä tietoja yleisimmille materiaaleille ja prosesseille. (17.) Taulukossa 3 on esitetty yleisimmin ohjelmistoissa käytettyjä tietokantoja.

TAULUKKO 3. Ohjelmistojen käyttämät tietokannat (17)

Ohjelmisto	Kattavuus	Sisältyvien prosessien lukumäärä
Ecoinvent v.2	Energia, kuljetus, rakennusmateriaalit, kemikaalit pesuaineet, paperi, pahvi, jätteiden käsittely	yli 4 000
US LCI	Energia, kuljetus, pohjois-amerikkalainen raaka-ainetuotanto sisältäen maatalouden, kemikaalit, muovit, metallit ja puut	423
ELCD	EU:n tärkeimmät raaka-aineet, energialähteet, kuljetus ja jätteiden käsittely	327
EU and Danish input output	Kattaa Tanskan koko tuotantojärjestelmän ja tärkeimmät tuonti- ja vientihyödykkeet	750 (hyödykettä)
US input output	Tavanomaisimmat tuotantohyödykkeet	Ei ilmoitettu
Swiss input output	–	154
LCA food	Kattaa vaiheittaiset elintarviketuotteiden ympäristötiedot ja prosessit	500
Industrydata	Tunnetuimmat teollisuusprosessit	74

### 3.1 Vaikutusarviointimenetelmät

Tietokannoista kerätyistä inventaariotiedoista aiheutuvat ympäristövaikutukset saadaan selville vaikutusarvioinnin avulla (12, s. 34). Vaikutusarviointimenetelmällä kuvataan tapaa, jolla vaikutusarviointi suoritetaan (6, s. 1). Hiili- ja elinkaariohjelmistot mahdollistavat useiden vaikutusarviointimenetelmien käytön, joilla eri ympäristövaikutuksia voidaan arvioida ja mallintaa. Vaikutusarviointimenetelmiä on kehitetty paljon ja useaan eri käyttötarkoitukseen. Tässä luvussa

on esitetty lyhyt kuvaus viidestä yleisesti käytetystä vaikutusarviointimenetelmästä.

*Eco-indicator 99* on elinkaariarvioinneissa käytetty haittapainotteinen vaikutusarviointimenetelmä. Tätä vaikutusarviointimenetelmää voidaan käyttää käytännön ekosuunnittelussa. Menetelmä mahdollistaa useiden ympäristövaikutusten arvioinnin ja niistä saatujen tulosten ilmoittamisen yhdellä tuloksella. Menetelmässä inventaarioanalyysin tulokset jaotellaan kolmeen haittaryhmään haitan mallinnuksen avulla. Nämä ryhmät ovat ihmisen terveydelle vaaralliset haitat, ekosysteemin laatuun vaikuttavat haitat ja resursseja vahingoittavat haitat. (18.)

*IPCC 2007* on hallitustenvälisen ilmastopaneelin luoma vaikutusarviointimenetelmä kasvihuonekaasuille. Menetelmässä arvioidaan kasvihuonekaasujen vaikutuksia ilmastoon GWP-kertoimien avulla (liite 2). Huomioitavaa menetelmässä on, että se ei määrittele metaanipäästöjä. Menetelmässä on mahdollista valita tarkasteluajanjakso, jonka perusteella käytettävä GWP-kerroin määräytyy. IPCC 2007 -menetelmässä voidaan valita kolme eri tarkasteluajanjaksoa: 20 vuotta (20a), 100 vuotta (100a) tai 500 vuotta (500a). Menetelmää käytetään myös elinkaariarviointia täydentävänä osana, jolla mallinnetaan tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt. Esimerkiksi elinkaariarviointien *Eco-indicator 99* -menetelmässä käytetään IPCC 2007 GWP 100a -menetelmää arvioimaan ilmastolle aiheutuvia haittavaikutuksia. (6, s. 9 - 10, 41.)

Elinkaariarvioinnin vaikutusarviointimenetelmänä tunnettu *Ecosystem Damage Potential (EDP)* on Sveitsin liittovaltion teknillisen instituutin luoma menetelmä, joka luonnehtii maanvarauksesta ja sen muutoksesta aiheutuvia vaikutuksia. EDP-menetelmä perustuu maankäytöstä aiheutuvien vaikutusten mallintamiseen lajien monimuotoisuuden arvioimisen muodossa. Menetelmä määrittelee karakterisointi- eli luonnehdintakertoimen 53 eri maankäyttötavalle. (6, s. 30.)

*Ekologinen jalanjälki* -menetelmässä mitataan ekologisesti tuottavan maa-alueen kokoa, jolla voidaan tuottaa tarvittavat resurssit. Esimerkiksi menetelmällä mitataan, miten suuri ekologisesti tuottava maa-alue tarvitaan kattamaan kaupungin ravinnontuotannon, asumisen tai liikenteen voimavarat. Lisäksi Eko-

logisella jalanjäljellä voidaan laskea myös tarvittava maa-alue, jolla voidaan kat-  
taa jätteiden hävittäminen. (19, s. 368 - 369.)

*EDIP 2003* (Environmental Design of Industrial Product) on tanskalainen vaiku-  
tusarviointimenetelmä, joka on tarkoitettu elinkaariarviointeihin. EDIP 2003 on  
päivitetty versio aiemmin ilmestyneestä EDIP 97 -menetelmästä. Menetelmän  
pääajatus on liittää altistuminen osaksi luonnehdintaa pienemmissä vaikutus-  
ryhmissä. Menetelmässä otetaan huomioon 19 vaikutusryhmää, joita ovat muun  
muassa ilmaston lämpeneminen, happamoituminen, otsonikato, ekomyrkylli-  
syys sekä resurssit. EDIP 2003:ssa normalisointi ja painotus ovat määriteltyinä  
kaikille vaikutusryhmille poislukien ekomyrkyllisyyden ja resurssit. (6, s. 33 - 34.)

### **3.2 Ohjelmistojen työkalut**

LCA-ohjelmistojen mahdolliset käyttökohteet määräytyvät pääosin niissä käytet-  
ävissä olevien työkalujen sekä ohjelmiston ominaisuuksien kautta. Ohjelmistoi-  
hin on kehitetty paljon erilaisia työkaluja ja ominaisuuksia. Tässä luvussa on  
kuvattu lyhyesti yleisimmät LCA-ohjelmistojen käyttämät työkalut, menetelmät ja  
ominaisuudet.

Elinkaaren hallinta (Life Cycle Management, LCM) on pitkälle suuntaava, koko-  
naisvaltainen menetelmä, jolla voidaan lisätä pitkäkestoista arvoa yritykselle ja  
sen tuotteille. Menetelmä pitää sisällään useita apumenetelmiä, joilla kartoite-  
taan ja luodaan arvioita tuotteiden elinkaarista. Näitä apumenetelmiä ovat muun  
muassa elinkaariarviointi ja elinkaaren kustannusten arviointi. (20, ha-  
ku→LCM→hakutulos→Life Cycle Management.) Lisäksi joihinkin ohjelmistoihin  
on kehitetty kestävän kehityksen työkalu (Life Cycle Sustainability Assessment,  
LCS), joka mahdollistaa kestävän kehityksen arvioinnin ja mittaamisen tuotteille  
ja tuotejärjestelmille (21).

Työkaluna elinkaariarvioinnilla (LCA) tarkoitetaan tuotejärjestelmän elinkaaren  
aikana syntyvien tai kulutettavien syötteiden, tuotosten ja merkittävien ympäris-  
tövaikutusten koostamista sekä arviointia. Elinkaariarvioinnin alle sisältyy edel-  
leen useita aputyökaluja, kuten inventaarioanalyysi ja vaikutusarviointi. Inven-  
taarioanalyysin (LCI) tehtävänä on yhdistää ja kuvata tuotejärjestelmän elinkaa-



ren aikaiset syötteet ja tuotokset niiden määrällisinä arvoina. Vaikutusarvioinnilla (LCIA) puolestaan arvioidaan tuotejärjestelmän ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä. (7, s. 64.)

Elinkaaren suunnittelu (Life Cycle Engineering, LCE) on menetelmä, jolla pyritään suunnittelemaan tuotejärjestelmät siten, että ne kykenevät saavuttamaan niille asetetut tehokkuus-, kustannus-, ja ympäristövaatimukset (22, s. 2). Elinkaaren kustannukset (Life Cycle Costing, LCC) -työkalun avulla taas kyetään arvioimaan prosessien, materiaalien ja ainevirtojen elinkaaren aikaisia kustannuksia, jotka muodustuvat esimerkiksi pakkauksista, kuljetuksista ja yleiskustannuksista. (23, haku→LCC→hakutulos→Data Collection and Data Management→linkki→Life Cycle Costing (LCC).)

Elinkaaren työympäristö (Life Cycle Work Environment, LCWE) -työkalun avulla voidaan määrittää, kuinka paljon tietty elinkaaren vaihe vaatii tehtyjä työtunteja. Tämä työkalu tarkastelee asetusarvojen mukaisia työympäristöjä työntekijöiden näkökulmasta. (23, haku→LCWE→hakutulos→Life Cycle Working Enviroment.) Ympäristömyötäinen suunnittelu (Design for Environment, DfE) on puolestaan elinkaariajattelun hyödyntämistä suunnitelmien laatimisessa. Tämän työkalun avulla voidaan vertailla eri tuotejärjestelmiä toisiinsa, jolloin kyetään valitsemaan ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Erityisesti prosessien kehittämisessä voidaan vertailla eri vaihtoehtoja niin sanottujen kriittisten pisteiden kohdalla. (20, haku→ DfE→hakutulos→Design for the Enviroment.)

Lisäksi monet ohjelmistot tarjoavat työkaluja, kuten materiaali- tai ainevirtojen analysointi (Substance/Material Flow Analysis, SFA/MFA), tuotteiden taloudellinen hoito (Product Stewardship) ja toimitusketjujen hallinta (Supply Chain Management) (21). Seuraavassa taulukossa 4 on esitetty kooste kymmenestä eri hiili- ja elinkaariohjelmistosta sekä niiden soveltuvuuksista. Koska ohjelmistoja on saatavilla hyvin paljon, valittiin koosteeseen vain osa niistä. Ohjelmistot pyrittiin valitsemaan eri käyttöalueilta. Taulukossa on kuvattu kunkin ohjelmiston kohderyhmät sekä referenssit.

TAULUKKO 4. Yhteenvedo kymmenestä eri hiili- ja elinkaariohjelmistosta (21; 21, linkki→TESPI; 21, linkki→EIME v3.0; 23, linkki→Customers; 24; 25; 26; 27; 28)

Ohjelmisto	Työkalut	Referenssit tai kohderyhmät
GaBi 4	LCA, LCI, LCWE, LCIA, LCS, LCC, DfE, DfR, SFA/MFA, Product Stewardship, toimitusketjujen hallinta	AMD, Audi, Arla Food, ABB, Bayer, Bosch, BMW, Dell, HILTI, Isover, Ruukki, Siemens, Volkswagen
SimaPro 7	LCM, LCA, LCI, LCWE, LCIA, LCS, LCC, DfE, DfR, LCE, SFA/MFA, Product Stewardship, toimitusketjujen hallinta	Ei ilmoitettu
Product Ecology	* Lifecycle Designer, EcoCompare, Compliance Navigator	Suunnittelutoimistot, teollisuuden erilaiset tuotesuunnittelu-tehtävät
REGIS 2.3	LCM, Compliance Checks, LCA, LCI, LCIA, LCS, LCC, SFA/MFA	Swisscom, Coca Cola Beverages, HILTI, Komatsu, Denso, Canon Europe
TEAM™4.5 (31)	LCM, LCA, LCI, LCIA, LCC, DfE, DfR, SFA/MFA, Compliance Checks, Product Stewardship, toimitusketjujen hallinta	Ademe, General Motors, IBM, Hewlett Packard, Rockwool, XEROX, TOYOTA, Shell
WRATE	LCM, LCA, LCI, LCIA, LCS	Jätteiden hallinta, jätteiden käsittely, yritykset
BEES 3.0d	LCA, LCI, LCIA, LCC	Rakennusmateriaalit
KCL-ECO 4.0	LCM, LCA, LCI, LCIA, DfE, DfR, LCE, SFA/MFA, Product Stewardship, toimitusketjujen hallinta	Teollisuus, paperi ja selluteollisuus, konsultit, koulut ja tutkimuslaitokset
TESPI	DfE	Tuotteiden valmistajat
Eime v3.0	Compliance Checks, LCA, LCI, LCIA, DfE, DfR	ABB, Acome, Alcatel, France telecom, Kodak, Schneider

\* Työkalujen selitykset ovat kohdassa 3.5.

### 3.3 SimaPro 7.3

SimaPro on Pré Consultantsin luoma hiili- ja elinkaariohjelmisto, joka mahdollistaa tuotejärjestelmien mallintamisen elinkaarinäkökulmasta. SimaPron mallintamismenetelmien avulla käyttäjät voivat luoda vaativiakin malleja systemaattisesti ja hyvällä jäljitettävyydellä. SimaPro-ohjelmistolla voidaan suorittaa seuraavia sovelluksia: hiilijalanjäljen laskenta, tuote- ja ekosuunnittelu, tuotteiden ympäristömerkinnät, tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset (elinkaariarvio), ympäristöraportointi ja keskeisen suoritusindikaattorin valinta. (20, linkki→SimaPro.)

Pré Consultants luettelee internet-sivuillaan SimaPro-ohjelmiston ominaisuudet, joiden ansiosta ohjelmisto soveltuu useisiin eri käyttötarkoituksiin. SimaPro-ohjelmistolla elinkaariarviointi voidaan toteuttaa joko yksinkertaistetusti tai ISO 14040 -standardia noudattaen. SimaPro-ohjelmisto tarjoaa myös useita eri tietokantoja, ja käyttäjät kykenevät valitsemaan haluamansa vaikutusarviointimenetelmän. Ohjelmistossa allokointi on mahdollistettu tietyn prosessin useille eri lopputuotteille. Lisäksi ohjelmistossa on keskitytty tietokantojen ohella jäljitettävyyteen, eli elinkaariarvioinnissa käytettyjä tietoja voidaan tarvittaessa jäljittää. (20).

SimaPro 7.3 -ohjelmistoon on sisällytetty useita eri tietokantoja, jotka mahdollistavat laajan tietoverkoston käytön. Seuraavassa on lueteltu SimaPro 7.3 -ohjelmiston käyttämät tietokannat: Ecoinvent v.2, US LCI, ELCD, US Input Output, EU and Danish Input Output, LCA Food ja Industry Data v.2. Lisäksi ohjelmistoon on saatavilla IVAM ja Japanese Input and Output -tietokanta. (20, linkit→SimaPro databases→SimaPro databases.)

Lopputuloksen kannalta on merkittävää, mitä vaikutusarviointimenetelmää laskennassa käytetään. Käytetty menetelmä tulee ilmoittaa lopputulosten yhteydessä, jotta tuloksia voidaan analysoida ja vertailla toisiin selvityksiin. Seuraavassa on lueteltu SimaPro 7.3 -ohjelmiston käytössä olevat vaikutusarviointimenetelmät: BEES, CML (2001, 1992), Cumulative Energy Demand, Cumulative Exergy Demand, Ecoindicator (99, 95), Ecological Footprint, Ecopoints 97 (CH), Ecological Scarcity, Ecosystem Damage Potential (EDP), EDIP/UMIP 97,

EDIP 2003, EDP 2007, EPS (2007, 2000), Impact 2002+, IPCC GWP (2007, 2001), Selected LCI Results ja TRACI 2. (6, s. 30.)

### **Mallin luominen SimaPro 7.3 -ohjelmistolla**

SimaPro-ohjelmiston käyttö aloitetaan uuden projektin luomisella. Kun ohjelmisto käynnistetään, aukeaa ikkuna, josta voidaan aloittaa uusi projekti tai jatkaa jo aikaisemmin luotua projektia. Ohjelmisto kerää käyttäjän luomat mallit sekä niihin luodut tiedot automaattisesti aktivoidun projektin alle.

Malli luodaan navigointipalkin Product stages -valikon Assembly-kohtaan. Navigointipalkki on käyttöliittymän vasemmassa reunassa oleva osio, josta voidaan hallita projektin malleja ja niiden asetuksia. Product stages -valikko avaa edelleen tietoiikkunaan alasvetovalikon, jossa voidaan määritellä tuotteen tai tuotejärjestelmän elinkaarta koskevat tiedot. Tietoiikkuna on puolestaan navigointipalkin oikealla puolella loput käyttöikkunasta täyttävä tietokenttä. Tietoiikkuna näyttää navigointipalkista tai alasvetovalikosta valitun osa-alueen, syötteen tai tuotoksen tiedot.

Mallinnus tehdään kokoonpanoperiaatteella, jolloin Product stages -valikon kokoonpanot-kohtaan luodaan uusi kokoonpano, malli. Malliin syötetään siinä käytettävät materiaalit ja prosessit. Lisäksi malliin voidaan lisätä myös aikaisemmin luotuja alikokoonpanoja. Kaikki tuotejärjestelmän yksikköprosessit luodaan omana alikokoonpanonaan. Lopuksi kaikki alikokoonpanot kerätään yhteen pääkokoonpanoon, jolle voidaan suorittaa koko tuotejärjestelmän kattava vaikutusarviointi.

### **3.4 GaBi 5**

GaBi on PE Internationalin kehittämä ohjelmisto, jonka uusin versio on GaBi 5. Tämän opinnäytetyön laskelmissa käytetään kuitenkin GaBi 4 -ohjelmistoa, koska ohjelmiston käyttöön vaadittava lisenssi oli saatavilla vain versiosta neljä. Tietojen ajankohtaisuuden vuoksi teoriaosiossa käsitellään kuitenkin GaBi 5 -ohjelmistoa. GaBi 5 on kestävä kehityksen LCA-ohjelmisto, jolla on monia käyttömahdollisuuksia. GaBi 5 tarjoaa käyttäjilleen kattavan valikoiman erilaisia

elinkaariarvioinnin apuvälineitä ja työkaluja. (23, [linkit→Software→GaBi Software→GaBi 5.](#)) Kaikki ohjelmiston työkalut ovat listattuna taulukossa 4.

Koska elinkaariarviointien laatu on verrannollinen siinä käytetyn tiedon laatuun, sisältää GaBi 5 kattavat tietokannat. Ohjelmiston hankintavaiheessa käyttäjän on mahdollista valita ohjelmistoon sisällytettävät tietokannat. Kaiken kaikkiaan ohjelmistoon voidaan valita kolme erilaista tietokantaa. Nämä tietokannat ovat GaBi Database, Ecoinvent ja U.S. LCI. Lisäksi ohjelmistoon voidaan sisällyttää palvelu, jonka avulla käyttäjät voivat luoda uusia tai tarkkoja tietoja syötteistään tai tuotoksistaan yhteistyössä PE Internationalin ammattilaisten kanssa. (23, [linkki→Databases.](#))

GaBi 5 -ohjelmistossa inventaarioanalyysin tulosten vaikutuksia voidaan arvioida useilla eri vaikutusarviointimenetelmillä. Ohjelmisto sisältää seuraavat vaikutusarviointimenetelmät: TRACI 2.0, CML (1996, 2001 ja 2007), Ecoindicator (95 ja 99), Ecological Scarcity Method, EDIP, USEtox ja ReCiPe. Lisäksi käyttäjillä on mahdollisuus lisätä haluamiaan vaikutusarviointimenetelmiä. (23, [hakusana→Impact Methodologies→hakutulokset→Impact Methodologies \(LCIA\).](#)) Hiilijalanjälkiselvityksen laadinnassa ohjelmisto mahdollistaa myös noudatettavan standardin valinnan. Ohjelmistossa on kolme eri standardivaihtoehtoa: ISO 14044 -standardi, BSI PAS 2050 -ohjeistus tai GHG-protokolla. (23, [linkit→Solution→Product Carbon Footprint.](#))

### **Mallin luominen GaBi 4 -ohjelmistolla**

GaBi 4 -ohjelmiston käyttö aloitetaan tietokantojen aktivoinnilla, jonka jälkeen ohjelmisto siirtyy mallinnustilaan. Mallin laadinta aloitetaan luomalla uusi projekti navigointipalkin projektit-kohdasta. Kun projekti on luotu ja aktivoitu, ohjelmisto kerää projektia koskevat tiedot automaattisesti kyseisen projektin alle. Navigointipalkki ja tietoiikkunat ovat vastaavat kuin SimaPro-ohjelmistossa.

Varsinainen mallinnus suoritetaan navigointipalkin suunnitelmat-kohdassa. Mallia varten luodaan uusi suunnitelma, joka on suositeltavaa nimetä mallinnettavan tuotteen mukaisesti. Luodun suunnitelman alle luodaan alasuunnitelmia, joihin tuotejärjestelmän yksikköprosessit mallinnetaan. Yksikköprosessit mallinnetaan suunnitelmaikkunaan, johon kerätään yksikköprosessiin kuuluvat pro-

sessit. Suunnitelmaikkuna aukeaa automaattisesti, kun uuden suunnitelman laatiminen aloitetaan.

GaBi 4 -ohjelmistossa mallintaminen perustuu visuaaliseen mallintamiseen. Tämä tarkoittaa, että prosessit kerätään niille tarkoitettuun suunnitelmaikkunaan, jossa jokaista prosessia kuvataan laatikolla. Jokaisen laatikon sisälle syötetään prosessiin tulevat ja siitä lähtevät syötteet ja tuotokset. Laatikot kytkevään toisiinsa nuolien avulla, jotka kuvaavat prosessien välisiä ainevirtoja. Näin tuotejärjestelmästä muodostuu visuaalinen malli, joka kuvaa tuotejärjestelmän sisäisiä prosesseja ja ainevirtoja.

Kun jokainen yksikköprosessi on mallinnettu omaan alasuunnitelmaansa, voidaan ne kerätä yhdeksi pääsuunnitelmaksi. Pääsuunnitelmalle suoritetaan vaikutusarviointi käyttäjän valitsemalla vaikutusarviointimenetelmällä. Vaikutusarviointi suoritetaan suunnitelmaikkunan ylä laidassa olevalla tasapainotoiminnolla.

### **3.5 Product Ecology**

Product Ecology on WSP:n ympäristö- ja energiaosaston kehittämä LCA-ohjelmisto. Ohjelmistoa käytetään internet-käyttöliittymän kautta, mikä erottaa sen toisista LCA-ohjelmistoista. Internet-käyttöliittymä mahdollistaa esimerkiksi laskelmien suorittamisen myös toimiston ulkopuolella. Product Ecology on suunnattu teollisuuden suunnittelijoille, tuotekehityshenkilöille, insinööreille, hallinnolle sekä valmistuslinjoille. Ohjelmiston tavoitteena on mahdollistaa ympäristöystävällisempien tuotteiden suunnittelu sen tarjoamien työkalujen avulla. (29.)

Product Ecology perustuu kolmeen seuraavaan päätoimintoon: Lifecycle Designer, EcoCompare sekä Compliance Navigator (29). Product Ecology -ohjelmistossa mallinnus tehdään *Lifecycle Designer* -työkalulla, joka mahdollistaa tuotteiden mallintamisen kehdosta hautaan tai kehdosta portille -periaatteella (29, linkit→About→Gradle to Grave Analysis). Lifecycle Designer on työkalu, jolla voidaan analysoida, muokata ja asetella tärkeysjärjestykseen suunnittelussa tehtyjä valintoja niiden elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten

perusteella. Lisäksi työkalulla voidaan laatia kehitysraportteja saavutettavista eduista. (29, [linkit→About→Lifecycle Designer](#).)

Lifecycle Designer -työkalun yhteyteen sisältyy myös Live Charts -sovellus, jolla nähdään materiaalivalintojen aiheuttamat ympäristövaikutukset reaaliaikaisesti. Live Charts -sovellus pitää myös yllä reaaliaikaisesti päivittyvää kaaviota. Kaaviosta voidaan havainnoida tehtyjen materiaalivalintojen aiheuttamat muutokset tuotteen ympäristövaikutuksiin ilman erillisiä välianalyseja. (29, [linkit→About→Live Charts](#).)

*EcoCompare*-työkalun avulla suunnittelija voi puolestaan vertailla valittujen materiaalien ympäristövaikutuksia keskenään. Työkalu mahdollistaa kahden tai useamman materiaalin vertailun samanaikaisesti. EcoCompare-työkalun avulla suunnittelija kykenee valitsemaan ilmaston kannalta parhaat materiaalit suunnitelmiinsa. (29, [linkit→About→ecoCompare](#).)

*Compliance Navigator* -työkalu varmistaa tuotekohtaisten säädösten, standardien ja lainsäädäntöjen noudattamisen. Työkalu käyttää hyväkseen interaktiivista ohjeistusta, jonka avulla käyttäjää ohjataan noudattamaan haluttuja säädöksiä. Lisäksi Compliance Navigator laatii arviointiraportit seuraaville direktiiveille ja luokitusjärjestelmille: EU RoHS (vaarallisten aineiden käyttöä elektroniikkalaitteissa säätelevä direktiivi), EU Batteries (paristojen kierrätysdirektiivi) ja EPEAT (elektroniikkalaitteiden luokitusjärjestelmä). (29, [linkit→About→Compliance Navigator](#).)

Product Ecology -ohjelmistoon on sisällytetty myös suunnittelua nopeuttavia sovelluksia. Suunnittelusta laadittavien raporttien laadinta on huomioitu Lifecycle Reporting -sovelluksella. Kyseisellä sovelluksella voidaan luoda raportteja tehdyistä mallinnuksista sekä niiden ympäristövaikutuksista. (29, [linkit→About→Lifecycle Reporting](#).) Product Ecology -ohjelmistolla voidaan tehdä myös valmiita osaluetteloita mallinnetuista tuotteista Bill of Materials -sovelluksella (29, [linkit→About→Bill of Materials](#)). Bill of Materials -sovellus luo Excel-taulukon ohjelmistoon kirjatusta osista ja niiden materiaaleista. Kuvassa 6 on esimerkki kahvinkeittimelle luodusta osaluettelosta.

Component	Part	Input	Type (Material or Process)	Amount	Unit
Coffee pot	coffee pot	flat glass, uncoated, at plant	Material	0,4	kg
Coffee pot	coffee pot	metal working factory operation, average heat energy	Process	0,4	kg
Coffee pot	Handle	polypropylene, granulate, at plant	Material	0,2	kg
Coffee pot	Handle	injection moulding	Process	0,2	kg
Housing	Housing	polypropylene, granulate, at plant	Material	0,8	kg
Housing	Housing	injection moulding	Process	0,8	kg
Housing	heating plate	aluminium, primary, at plant	Material	0,1	kg
Power cable	power cable	polyvinylchloride, at regional storage	Material	0,105	kg
Power cable	power cable		Process	0	
Power cable	copper	copper, at regional storage	Material	0,06	kg
Small parts	polyprop	polypropylene, granulate, at plant	Material	0,14	kg
Small parts	polyprop	injection moulding	Process	0,14	kg
Small parts	polyvinyl	polyvinylchloride, at regional storage	Material	0,02	kg
Small parts	polyvinyl	injection moulding	Process	0,02	kg
Small parts	copper	copper, at regional storage	Material	0,02	kg
Small parts	steel	steel, converter, low-alloyed, at plant	Material	0,15	kg

KUVA 6. Product Ecologylla luotu kahvinkeitin osaluettelo

### Mallin luominen Product Ecology -ohjelmistolla

Mallin luominen Product Ecology -ohjelmistolla aloitetaan mallinnustyökalun valitsemisella. Product Ecologyssa malli luodaan Lifecycle Designer -työkalulla. Lifecycle Designer -työkalussa mallia varten luodaan uusi suunnitelma. Product Ecologyssa mallinnus etenee askelperiaatteella, jossa askeleet koostuvat seuraavista vaiheista: aloitus, materiaalit ja prosessit, jakelu, käyttövaihe, käytöstä poistaminen ja lopetus. Jokaisessa askeleessa määritetään sen otsikossa kuvatut tiedot. Navigointi eri vaiheiden välillä tehdään käyttöikkunan yläalaidassa olevien välilehtien avulla tai ikkunan alalaidassa olevien nuolipainikkeiden avulla. Jokainen askel on sisällytetty omaan välilehteensä.

Aloituvaiheessa valitaan tarkasteltava kohde sekä suoritetaan kohteen nimeäminen. Aloitusvaiheen jälkeen seuraa materiaalit ja prosessit -välilehti, jossa määritellään mallinnettavassa tuotteessa käytettävät materiaalit ja tarvittavat prosessit. Kuljetusta koskevat tiedot syötetään edelleen jakelu-välilehdellä, joka on seuraava välilehti. Jakelu-välilehden jälkeen syötetään tuotetta koskevat kulutustiedot, jotka kirjataan käyttövaihe-välilehdelle. Tuotteen hävitystä tai kierrätystä koskevat tiedot kirjataan käyttövaihe-välilehden jälkeen seuraavalle käytöstä poistaminen -välilehdelle. Viimeisenä välilehtenä toimii lopetus-välilehti, jossa esitetään laskelman tulokset.



## 4 OHJELMISTOKOKEET

### 4.1 Kahvinkeitin

Yhdeksi esimerkkikohteeksi ohjelmistokokeisiin valittiin kahvinkeitin, koska SimaPro 7.3 -ohjelmiston demoversiossa se toimi valmiiksi mallinnettuna opastusesimerkkinä. Näin ollen SimaPron kahvinkeitinille antama tulos toimii referenssinä, johon muiden ohjelmistojen tuloksia voitiin verrata. Kahvinkeitin oli myös hyvä tuote-esimerkki ohjelmistojen vertailuun, koska kaikki inventaarioanalyysin tiedot olivat valmiiksi saatavilla SimaPro-ohjelmistosta.

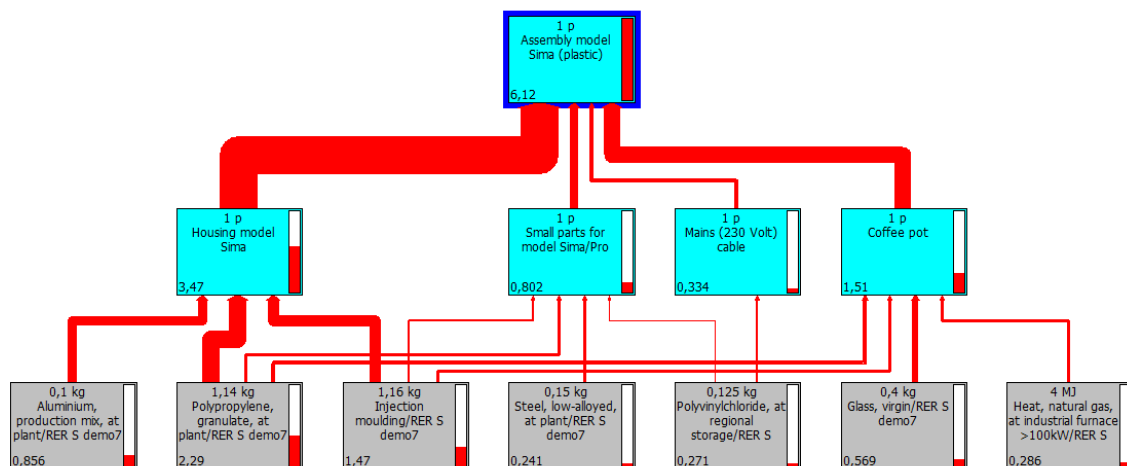
Hiilijalanjäljen rajauksena käytettiin kehdosta portille -rajausta (gradle to gate) eli selvitys rajattiin koskemaan vain materiaaleja, niiden valmistusta sekä kuljetusta. Toiminnallisena yksikkönä toimi yhden kahvinkeitin vaativat materiaalit. Kahvinkeitin on neljästä eri komponentista koostuva tuote. Nämä neljä komponenttia ovat kahvinkeitin kotelo, kahvipannu, virtakaapeli sekä pienet osat, kuten ruuvit, prikot ja eristeet, jotka luettiin yhdeksi komponentiksi. Taulukossa 5 on esitetty komponenttien materiaalit, valmistusmenetelmät sekä muut valmistukseen liittyvät tiedot.

*TAULUKKO 5. Kahvinkeitin osien materiaalit, valmistusmenetelmät sekä muut valmistukseen liittyvät tiedot (30)*

Komponentti	Materiaalit	Valmistusmenetelmät	Muut
Kotelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Polypropyleeni</li><li>• Alumiini</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ruiskuvalu (muovi)</li></ul>	
Kahvipannu	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lasi</li><li>• Polypropyleeni</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lasin muovaus (lämpöenergia)</li><li>• Ruiskuvalu (muovi)</li></ul>	
Virtakaapeli	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kupari</li><li>• Polyvinyylikloridi</li></ul>		Kuljetus
Pienet osat	<ul style="list-style-type: none"><li>• Polypropyleeni</li><li>• Polyvinyylikloridi</li><li>• Kupari</li><li>• Teräs</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ruiskuvalu (muovit)</li></ul>	

### Kahvinkeitin laskelma SimaPro 7.3 -ohjelmistolla

Koska Inventaaritiedot olivat valmiiksi syötettyinä SimaPro-ohjelmistoon, vain vaikutusarviointi täytyi suorittaa. Vaikutusarviointi suoritettiin GWP IPCC 2007 100a -menetelmällä. Ohjelmisto laski kahvinkeitin hiilijalanjäljeksi 6,12 kg CO<sub>2</sub> ekv (kuva 7).



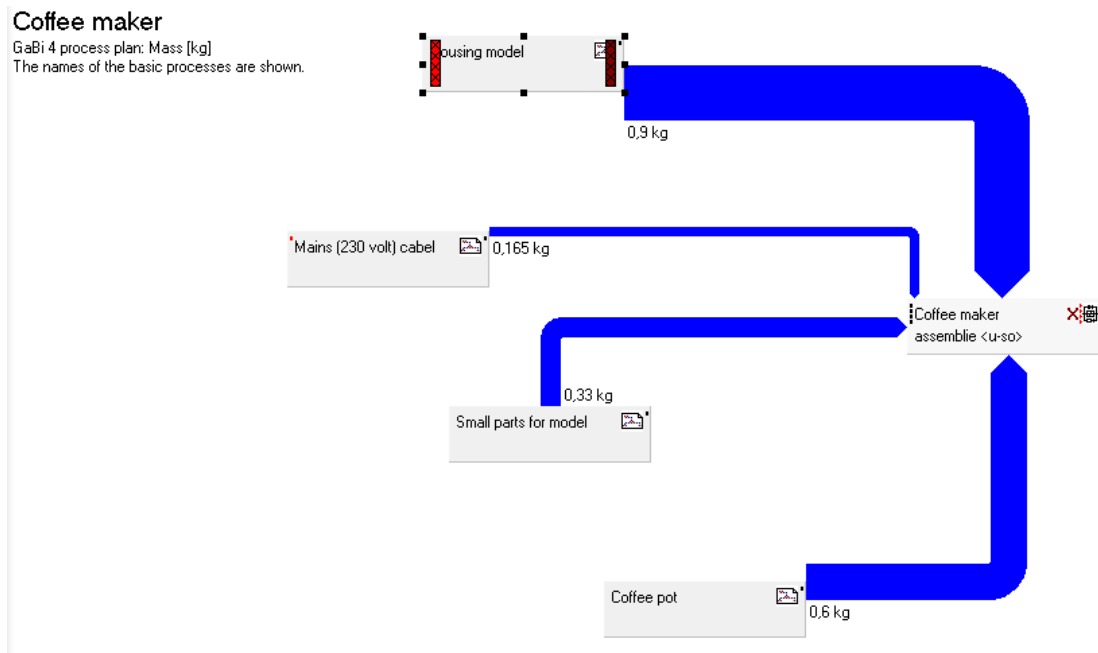
KUVA 7. Kahvinkeitin hiilijalanjälki SimaPro 7.3 -ohjelmistolla (30)

### Kahvinkeitin laskelma GaBi 4 -ohjelmistolla

GaBi 4 -ohjelmisto osoittautui heti alkuun raskaammaksi sekä enemmän työtä vaativammaksi mallinnustyökaluksi verrattuna SimaPro-ohjelmistoon. Laskennan alussa mallin laatiminen tuotti ongelmia muun muassa prosessien yhdistämisen yhteydessä. Lisäksi prosesseissa käytetyt resurssit täytyi määritellä tarkemmin kuin SimaProssa. GaBissa prosesseissa käytetyt materiaalit pitikin määritellä jokaiselle prosessille erikseen. Esimerkiksi kuljetuksissa kuluva polttoaine täytyi kirjata omana tietonaan kuljetustiedon lisäksi. SimaProssa polttoaineet olivat sen sijaan sisällytettyinä kuljetustietoihin. Kyseinen GaBi-ohjelmiston ominaisuus mahdollisti prosesseissa käytettävien raaka-aineiden tarkan määrittämisen, mutta toisaalta se hidasti myös mallin laatimista.

GaBi 4 -ohjelmistolla tehdyssä laskelmassa hyödynnettiin SimaPro-ohjelmiston kahvinkeitin inventaaritietoja. Inventaaritietojen sisäänkirjaamisessa pyrittiin käyttämään samoja tai vastaavia tietoja kuin SimaProssa, jotta laskelmien vertailukelpoisuus säilyisi. Kun kaikki inventaaritiedot oli kirjattu, voitiin mallille

suorittaa vaikutusarviointi. Vaikutusarvioinnissa käytettiin CML 2001 GWP 100a -menetelmää, joka on vastaava kuin SimaProssa käytetty IPCC GWP 2007 100a -vaikutusarviointimenetelmä. Vaikutusarvioinnin tuloksena GaBi 4 -ohjelmisto antoi kahvinkeitin hiilijalanjäljeksi 6,22 kg CO<sub>2</sub>ekv. Kuvassa 8 on GaBi 4 -ohjelmistolla luotu malli kahvinkeitimestä. Mallissa näkyy tuotejärjestelmän sisäiset massavirrat.



KUVA 8. GaBi 4 -ohjelmistolla luotu malli kahvinkeitimestä

Kuvassa 9 on kuvakaappaus Gabi 4 -ohjelmistolla lasketusta kahvinkeitin vaikutusarvioinnin tuloksesta. Kuten kuvasta voidaan nähdä, ohjelmisto ei muodosta lainkaan kaavioita tai muita havainnointiapuvälineitä numeerisen tuloksen lisäksi. Ohjelmistolla laskettu hiilijalanjälki on korostettu kuvassa punaisella nuolella.

Outputs	
	Coffee maker
<b>Flows</b>	<b>6,2162</b>
<b>Resources</b>	
<b>Emissions to air</b>	<b>6,2162</b>
<b>Emissions to fresh water</b>	
<b>Emissions to sea water</b>	
<b>Emissions to agricultural soil</b>	
<b>Emissions to industrial soil</b>	

KUVA 9. GaBi 4 -ohjelmiston vaikutusarvioinnin tulosten esitys

Kaiken kaikkiaan inventaariotietojen sisäänkirjaaminen GaBi-ohjelmistolla oli hidasta ja vaikeaa. Yhteensä mallin luomiseen kului arviolta 1,5 tuntia. Aikaa kului, koska inventaariotiedot jouduttiin mallintamaan tarkemmin, sekä prosessien väliset yhteydet täytyi määritellä ohjelmistoon. Lopuksi mallinnus muodosti GaBi-ohjelmistossa visuaalisen virtauskaavion. Virtauskaavio oli erittäin selkeä ja helppolukuinen, ja se kuvasi hyvin tuotejärjestelmän ainevirrat sekä niiden yhteydet. Vaikka aikaa kuluikin, on muodostuva virtauskaavio oiva havainnointiväline, jossa on kuvattu hyvin tuotejärjestelmän koostumus.

### **Kahvinkeitin laskelma Product Ecology -ohjelmistolla**

WSP:n Product Ecology -ohjelmistolla kahvinkeitin mallinnus suoritettiin Lifecycle Designer -työkalulla. Inventaariotiedot löytyivät helposti ja nopeasti, koska ohjelmisto käyttää samaa Ecoivent-tietokantaa kuin SimaPro. Product Ecologyssa mallinnus oli tehty yksinkertaiseksi ja johdonmukaiseksi. Tämä ilmeni prosessien sisäänkirjaamisessa, jolloin kirjattiin vain itse prosessi. Prosessin tietoihin kuuluivat kaikki prosessin tarvitsemat materiaalit ja syötteet toisin kuin GaBissa (kuva 10). Kuljetukseen liittyvät tiedot kirjattiin ohjelmiston kuljetukset välilehdellä.

Kahvipannu

Rename Component

+ Add part

Lasipannu

flat glass, uncoated, at plant

Choose

0.4 kg

Part name

Material

Quantity

metal working factory operation, average heat energy

Choose

0.4 kg

Process

Quantity

Kahva

polypropylene, granulate, at plant

Choose

0.2 kg

Part name

Material

Quantity

injection moulding

Choose

0.2 kg

Process

Quantity

KahvinkeitTIMen kotelo

Rename Component

+ Add part

Kotelo

polypropylene, granulate, at plant

Choose

0.8 tkm

Part name

Material

Quantity

injection moulding

Choose

0.8 kg

Process

Quantity

Lämpölevy

aluminium, primary, at plant

Choose

0.1 kg

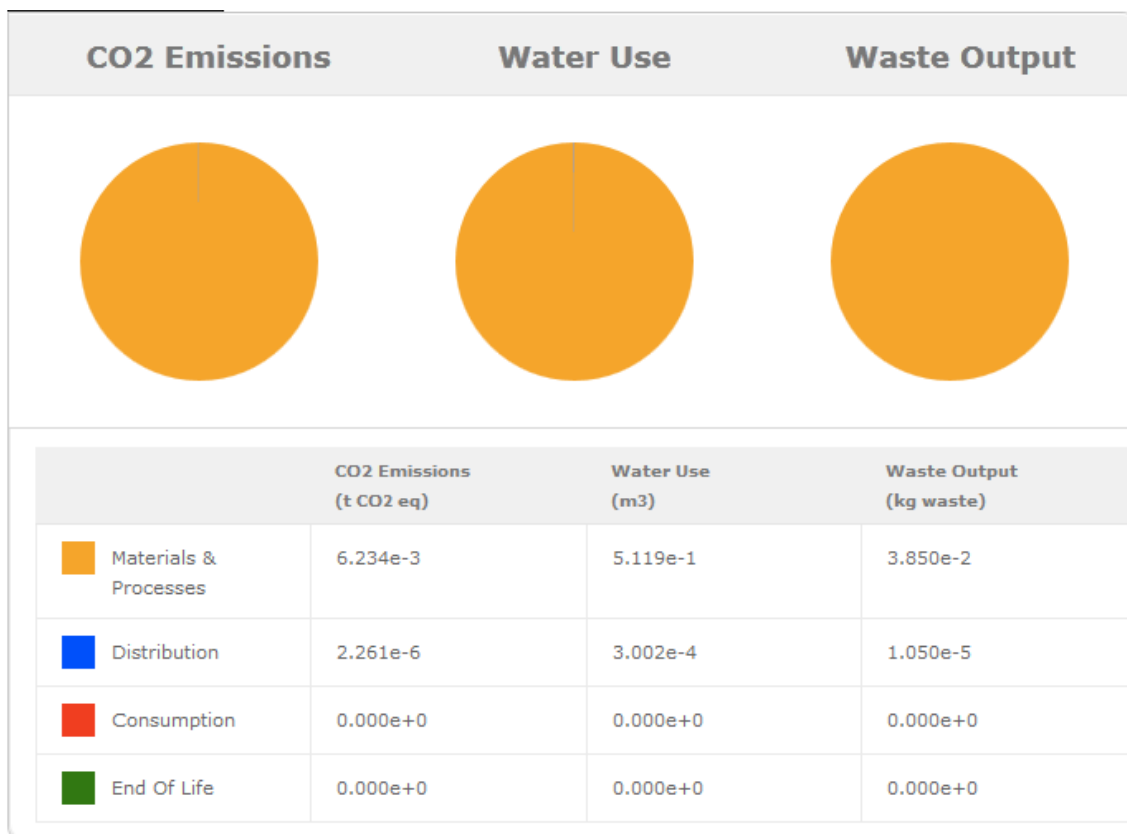
Part name

Material

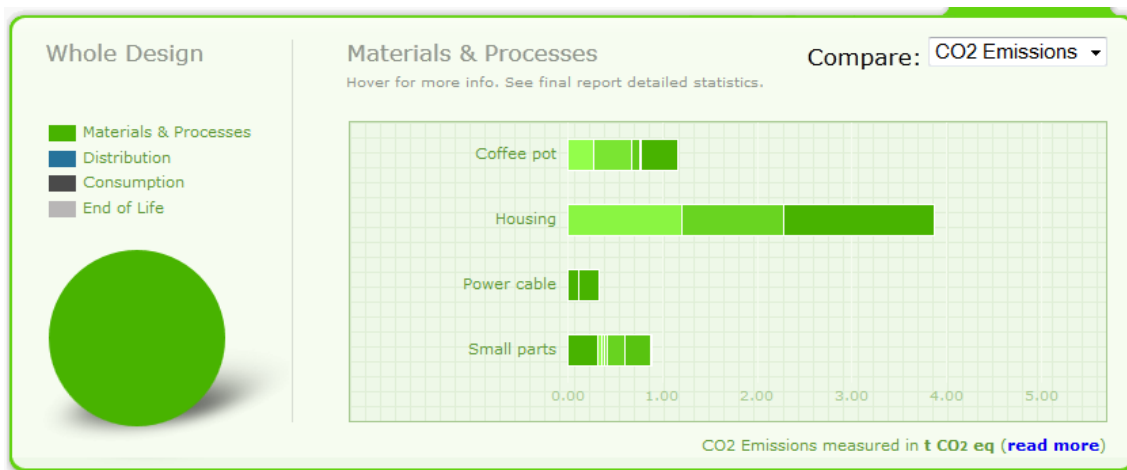
Quantity

KUVA 10. Inventaariotietojen kirjaaminen *Product Ecology* -ohjelmistolla

Mallin luominen sujui ongelmitta, ja ohjelmistolla saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Mallintamiseen ja tietojen analysoimiseen kului arviolta noin 20 minuuttia, joka on vähän verrattuna GaBi-ohjelmistoon. Vaikutusarviointimenetelmänä käytettiin samaa menetelmää kuin GaBi-ohjelmistossa. Ohjelmisto laski kahvinkeitTIMen hiilijalanjäljeksi 6.23 kg CO<sub>2</sub>ekv, joka on lähellä SimaPron antamaa vertailulähtökohtaa. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty *Product Ecology* -ohjelmiston antamat tulokset kahvinkeitTIMelle.

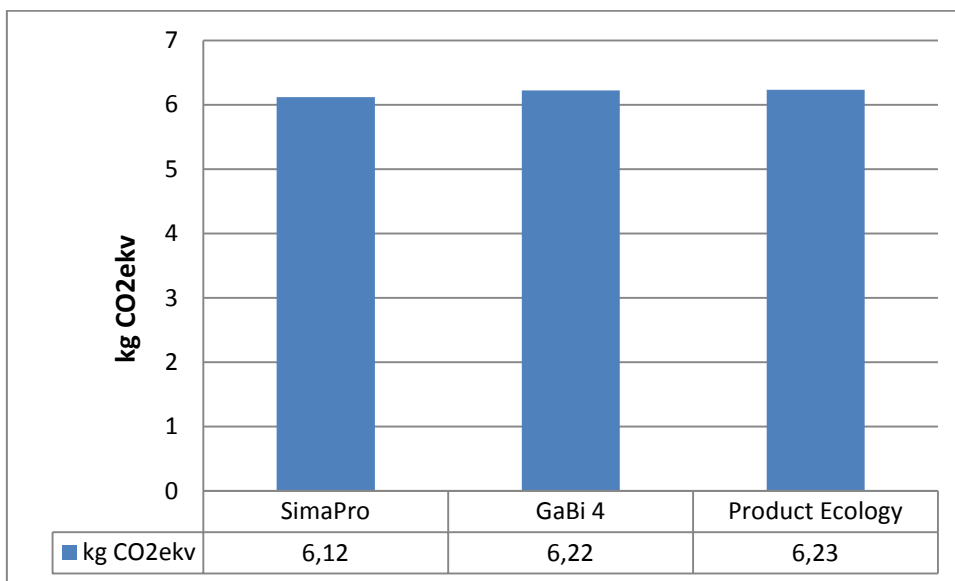


KUVA 11. Product Ecologyn antamat kahvinkeitTIMEN tulokset



KUVA 12. KahvinkeitTIMEN hiilijalanjäljen koostumus

Kuvassa 13 on kooste kunkin laskentaohjelmiston antamasta kahvinkeitTIMEN hiilijalanjäljestä. Tulosten perusteella voidaan todeta eri ohjelmistojen laskentatapojen ja kyseisten inventaaritietojen olevan lähellä toisiaan, koska tulokset poikkeavat vain vähän toisistaan.



KUVA 13. Kahvinkeitin hiilijalanjälki eri ohjelmistoilla

## 4.2 Kipsilevyseinä

Toiseksi tuote-esimerkiksi valitaan sisäkäyttöön suunnattu kipsilevyseinä. Kipsilevyseinä on hyvä esimerkki, koska se on yleisesti rakennuksissa käytetty tuote. Jotta hiilijalanjälki pystytään laskemaan, täytyy valita seinässä käytettävät materiaalit sekä määrittää laskelman rajaukset. Hiilijalanjälki rajataan kehdestä haetaan -periaatteella. Toisaalta selvityksen yksinkertaistamiseksi joudutaan tekemään tiettyjä yleistyksiä.

Epävarmuustekijät, kuten seinän rakentaminen ja pintakäsittelyt, rajataan laskelman ulkopuolelle. Lisäksi seinän kuljetustiedoissa oletetaan, että seinän materiaalit valmistetaan samassa paikassa, josta ne kuljetetaan kauppaan. Kaupasta materiaalit välitetään edelleen kuluttajalle. Kaupassaolon aikana materiaaleista ei aiheudu lisävaikutuksia hiilijalanjälkeen. Lisäksi oletuksena oli vielä, että kipsilevyseinän elinkaari päättyy kaatopaikalle. Tarkastelun toiminnalliseksi yksiköksi valitaan 1,2 metrin levyinen kipsilevyseinä, koska se on tyypillinen yhden kipsilevyn leveys.

Inventaariotiedot kerätään käyttäen kunkin materiaalin arvioituja keskimääräisiä arvoja. Materiaalivalinnoissa käytetään yleisimpiä kipsilevyseinissä käytettyjä materiaaleja. Seinän runko tehdään kertopuupalkista, jonka poikkileikkaus on korkeudeltaan 39 millimetriä sekä leveydeltään 66 millimetriä. Seinän eristyk-

sessä käytetään tavallisesti mineraalivillaa, jonka tiheys on  $30 \text{ kg/m}^3$  (31). Lisäksi seinään käytetään arviolta 0,3 kg ruuveja. Seinän leveydeksi valitaan kahden kipsilevyn leveys, joka on 2,4 metriä. Seinän korkeudeksi puolestaan asetetaan myös 2,4 metriä. Kipsilevyn massa puolestaan laskettiin käyttäen arvoa  $9,1 \text{ kg/m}^2$  (32). Seinään kuluvat materiaalit ja kuljetukset on esitetty tarkemmin taulukossa 6.

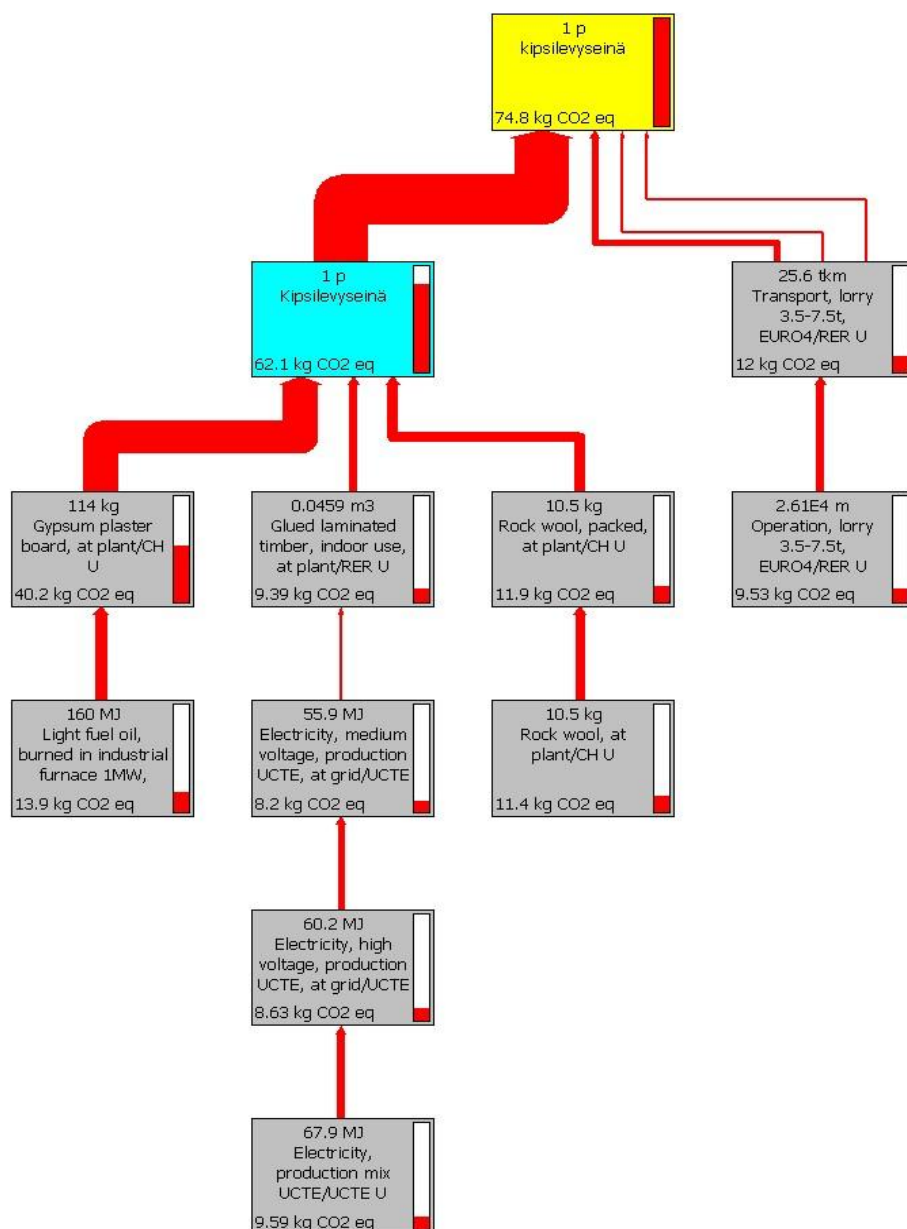
*TAULUKKO 6. Kipsilevyseinän materiaalit*

Materiaali tai kuljetus	Syötteen mitat tai kuvaus	Syötteiden määrät
Kertopuu	0,066x0,039x2,5 (m)	7 kpl (18 m) ( $0.0459 \text{ m}^3$ )
Mineraalivilla	0,070x0,565x1,17 (m)	1 paketti ( $5,29 \text{ m}^2$ )
Kipsilevy	0,013x1,2x2,6 (m)	4 levyä
Ruuvit	Kipsilevyruuveja	0,3 kg
Kuljetus tehtaalta kauppaan	Kuorma-auto (3,5 - 7,5 t, euro 4)	100 km
Kuljetus kaupasta kuluttajalle	Kuorma-auto (3,5 - 7,5 t, euro 4)	30 km
Kuljetus kaatopaikalle	Kuorma-auto (3,5 - 7,5 t, euro 4)	30 km

### **Kipsilevyseinän laskelma SimaPro 7.3 -ohjelmistolla**

Kipsilevyseinän hiilijalanjälki laskettiin ensin käyttäen SimaPro 7.3 -ohjelmistoa. Koska kipsilevyseinän materiaalit ovat yleisiä ja niitä käytetään paljon, voitiin niitä koskevat tiedot löytää ohjelmiston tietokannoista. Inventaariotietojen keräämisen jälkeen siirryttiin vaikutusarviointiin. Vaikutusarviointimenetelmänä käytettiin IPCC 2007 GWP 100a -menetelmää. SimaPro antoi kipsilevyseinän hiilijalanjäljeksi  $74,8 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv}$ . Kuvassa 14 on SimaPron kipsilevyseinästä muodostama tuloskaavio.



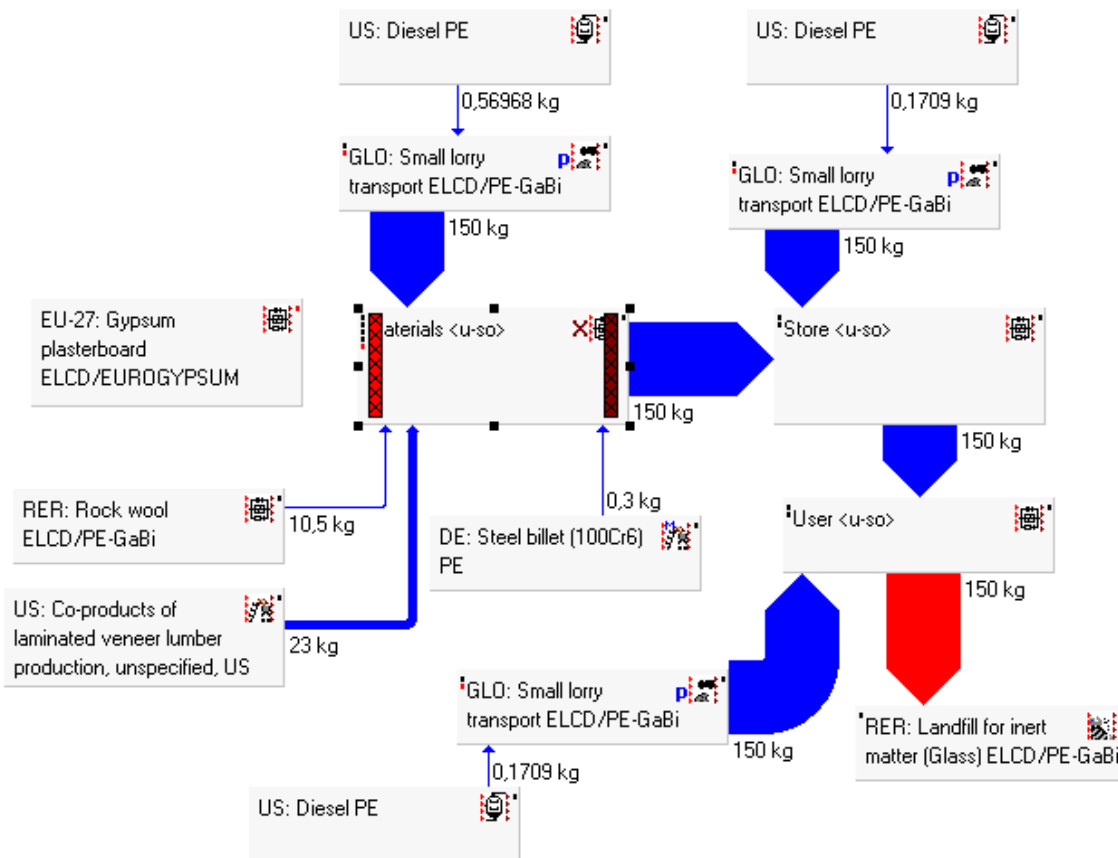


KUVA 14. Kipsilevyseinän hiilijalanjälki SimaPro 7.3 -ohjelmistolla

### Kipsilevyseinän laskelma GaBi 4 -ohjelmistolla

Hiilijalanjälkilaskelma GaBi 4 -ohjelmistolla aloitettiin inventaariotietojen sisäänkirjaamisella. Sisäänkirjauksessa käytettiin ohjelmiston tietokantoja. Kuten SimaProlla tehdyssä selvityksessä, kipsilevyseinän materiaalitiedot löytyivät myös GaBin tietokannoista. Vaikutusarviointimenetelmäksi valittiin CML 2001 GWP 100a -menetelmä. GaBi-ohjelmisto antoi annetuilla inventaariotiedoilla kipsilevyseinän hiilijalanjäljeksi 51,9 kg CO<sub>2</sub> ekv.

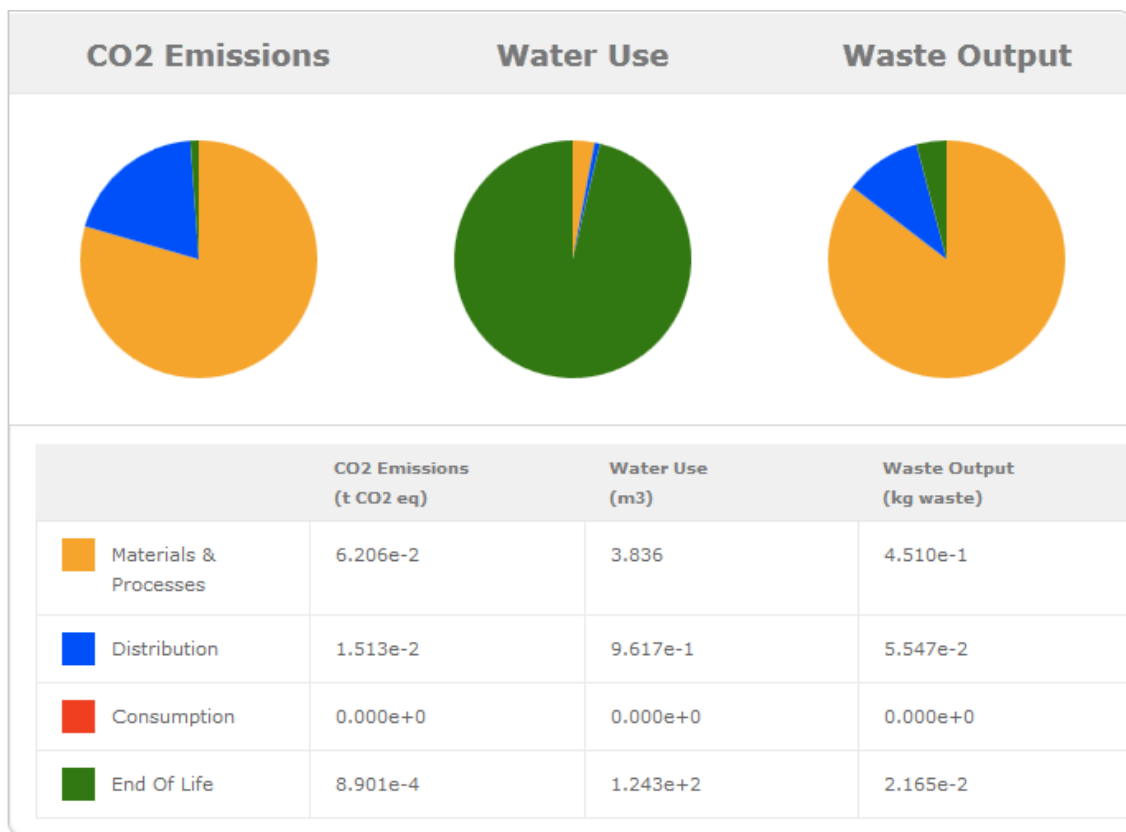
Kuvassa 15 on esitetty GaBi-ohjelmistolla luotu kipsilevyseinän laskentamalli. Käyttäjällä on mahdollisuus asettaa mallin eri osat haluamallaan tavalla, jolloin mallin selkeyttä voidaan parantaa. Tässä tapauksessa mallia jouduttiin tiivistämään tähän työhön sopivaksi, jolloin mallista tuli ulkoasultaan vaikealukuisempi.



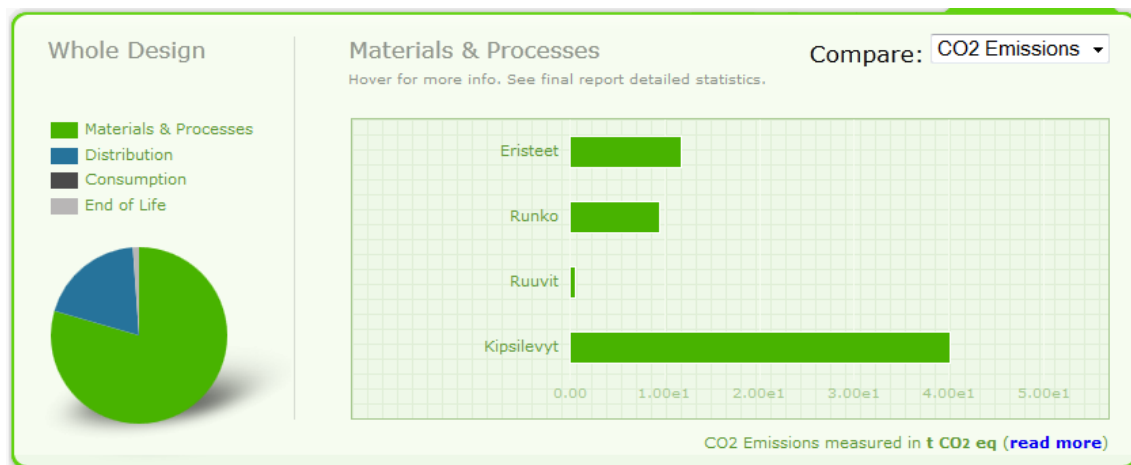
KUVA 15. Kipsilevyseinän hiilijalanjälki Gabi 4 -ohjelmistolla

### Kipsilevyseinän laskelma Product Ecology -ohjelmistolla

Kipsilevyseinän hiilijalanjälki laskettiin viimeisenä Product Ecology -ohjelmistolla. Koska ohjelmisto käyttää samaa tietokantaa kuin SimaPro, löytyivät kaikki inventaariotiedot ohjelmiston tietokannasta. Laskelma oli nopea toteuttaa, ja kipsilevyseinän hiilijalanjäljeksi saatiin 78,0 kg CO<sub>2</sub> ekv (kuva 16 ja kuva 17).



KUVA 16. Kipsilevyseinän hiilijalanjälki Product Ecology -ohjelmistolla



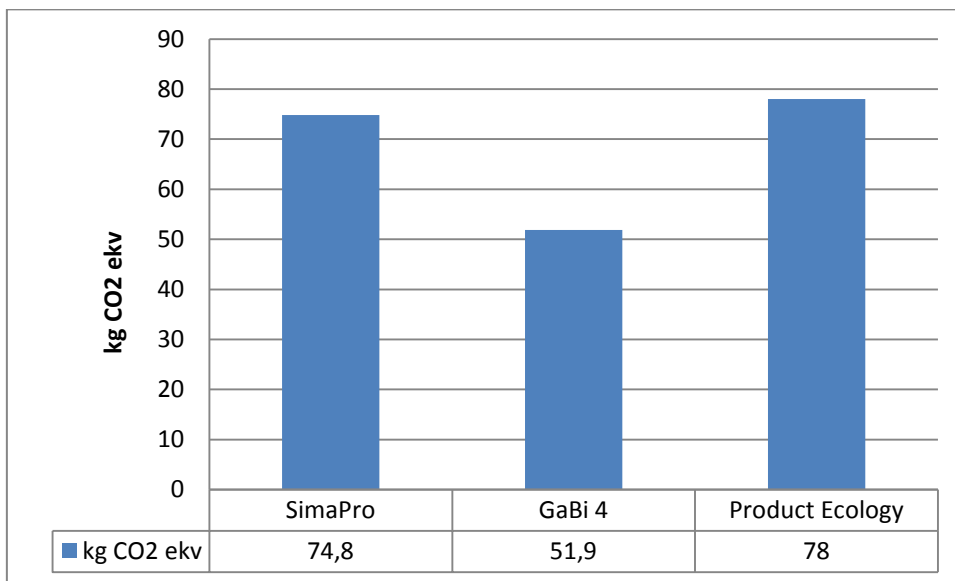
KUVA 17. Kipsilevyseinän hiilijalanjäljen koostumus

### Kipsilevyseinän laskelmien yhteenveto

Kipsilevyseinän hiilijalanjälki saatiin laskettua kolmella eri ohjelmistolla kohtuullisella ajankäytöllä. SimaProlla ja Product Ecologylla suoritettujen laskelmien tulokset olivat lähellä toisiaan, koska ne käyttävät samaa Ecoinvent-tietokantaa. Ero näiden kahden ohjelmiston välille syntyi kuljetusvaiheesta aiheutuvista

päästöistä. GaBi-ohjelmistolla laskettu hiilijalanjälki poikkesi huomattavasti toisilla ohjelmistoilla saaduista tuloksista. Osasyynä poikkeavuuteen voidaan pitää sitä, että GaBi-ohjelmistossa ei ollut käytettävissä Ecoinvent tietokantaa, joten laskelmissa käytettiin GaBin omaa GaBi-database tietokantaa.

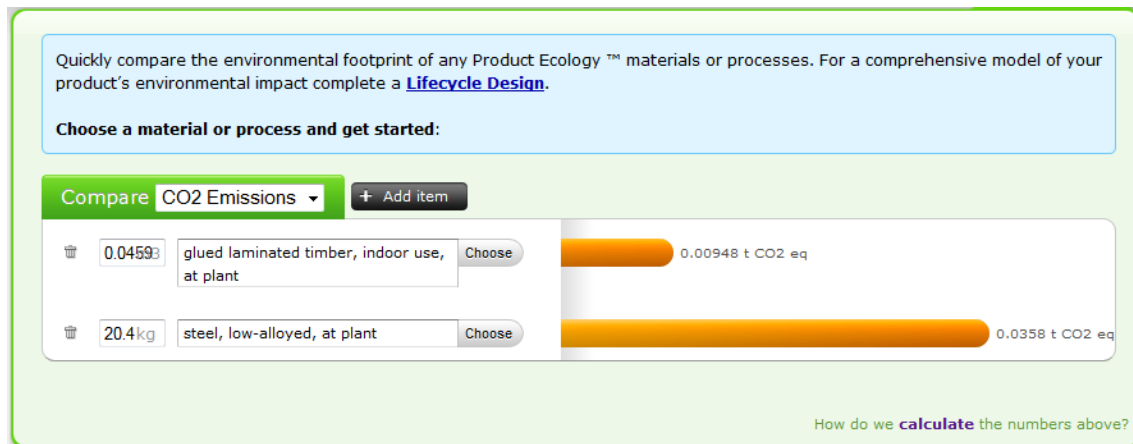
Lisätarkastelut paljastivat suurimman eron syntyvän kipsilevyn materiaalisyötteestä. Kuvasta 14 voidaan nähdä pelkän kipsilevyn (gypsum plaster board) hiilijalanjäljen olleen 40,2 kg CO<sub>2</sub> ekv SimaPro-ohjelmiston laskelmassa, kun taas GaBi antoi hiilijalanjäljeksi vastaavin arvoin kirjatulle syöteelle 26,7 kg CO<sub>2</sub> ekv. Koska GaBi-ohjelmistosta ei voida tarkastella syötteiden tarkkaa sisältöä, on mahdotonta päätellä tarkemmin, mikä aiheuttaa syötteiden välisen eroavaisuuden. Kuvassa 18 on puolestaan kooste kolmella eri ohjelmistolla lasketusta kipsilevyseinän hiilijalanjäljestä.



*KUVA 18. Kipsilevyseinän hiilijalanjälki laskettuna eri ohjelmistoilla*

Lisäselvityksenä kipsilevyseinälle tehtiin materiaalien vertailu. Kipsilevyseinän runkomateriaalina voidaan käyttää kertopuupalkkien sijasta myös teräsrankaa. Kertopuupalkkeille ja teräsrangalle suoritettiin vertailu käyttäen Product Ecologyn ecoCompare-työkalua. Keskimäärin kipsilevyseinän runkoon kuluisi arviolta 20,4 kg teräsrankaa. Seuraavasta kuvasta 19 nähdään teräsrangan ja kertopuupalkkien vertailun tulos. Kertopuupalkkien hiilijalanjäljen osuudeksi vertailu antoi 9,5 kg CO<sub>2</sub>ekv ja teräsrangan osuudeksi 36 kg CO<sub>2</sub>ekv. Vertailu osoittau-

tuikin kertopuupalkin eduksi, koska se on pääosin valmistettu uusiutuvasta materiaalista, puusta. Lisäksi puu on hiilidioksidineutraalia materiaalia eli se sitoo kasvaessaan vastaavan määrän hiilidioksidia kuin mitä hävitys tai käyttö vaiheessa sitä vapautuu.



KUVA 19. EcoCompare-vertailu kertopuupalkeille ja teräsrangalle

### 4.3 Biodieselin ja naftan tuotantolaitos

Tämän opinnäytetyön vaativimmassa käytännön selvityksessä määriteltiin hiilijalanjälki biodieseliä ja naftaa tuottavalle laitokselle. Biodieselin tarkoitus on korvata fossiilisen dieselin käyttöosuutta nykyisessä autokannassa ja näin ollen keventää diesel-autoista aiheutuvia päästöjä. Hiilijalanjälkiselvitys tehtiin noudattamalla PAS 2050 -ohjeistusta. Tuotantolaitoksen hiilijalanjälki laskettiin vain SimaPro ja GaBi -ohjelmistoilla, koska mallilaskelmiin varattu aika ei riittänyt laskelmien suorittamiseen Product Ecology -ohjelmistolla.

Hiilijalanjälkiselvitys aloitettiin elinkaariarvioinnin ensimmäisen vaiheen mukaisesti määrittelemällä järjestelmälle toiminnallinen yksikkö ja allokointimenettelyt sekä suorittamalla järjestelmän rajaus. Toiminnallisen yksikön valinnassa keskityttiin lopputuotteiden toimintoihin. Koska lopputuotteiden lopullinen toiminto on toimia polttoaineena, valittiin tätä kuvaavaksi toiminnoksi polttoaineen sisäenergia. Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin yhtä megawattituntia vastaava määrä tuotettua polttoainetta. Selvityksessä jouduttiin käyttämään allokointimenettelyä, koska järjestelmällä oli enemmän kuin yksi lopputuote. Järjestelmän lopputuotteet olivat molemmat polttoaineita, joten parhaaksi allokointimenettelyksi valittiin

energiaperusteinen allokointi. Energiaperusteinen allokointi oli tässä tapauksessa turvallis ja parhaan jäljitettävyyden tarjoava menetelmä.

Järjestelmän rajauksessa käytettiin kahta eri rajausta. Hiilijalanjälki laskettiin molemmille rajauksille erikseen. Kehdosta hautaan -rajausta (gradle to grave) käytettiin kuvaamaan hiilijalanjälkeä lopputuotteiden koko elinkaaren ajalta. Myös kehdestä portille -rajaus (gradle to gate) selvitettiin kuitenkin siltä varalta, että lopputuotteen kohteena olisi ollut kuluttajan sijaan toinen yritys, jolloin lopputuotteiden käyttövaiheita ei oteta huomioon. Tuotantoprosessin rajaukseen sisällytettiin raaka-aineet, logistiikka, valmistus sekä käyttö. Järjestelmän ulkopuolelle sen sijaan rajattiin tuotantolaitoksen rakennukset ja niiden infrastruktuuri sekä käytetyt koneet ja laitteet.

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn jälkeen seurasi inventaarioanalyysi. Hiilijalanjälkiselvityksen tilaaja toimitti tärkeimmät inventaariotiedot energian kulutuksesta, raaka-aineiden hankinnasta, prosessin sisäisistä toiminnoista, kuljetusetaisyyksistä sekä syntyvistä jätteistä. Puuttuvat tietotarpeet täydennettiin ohjelmiston tietokannoista.

Koska kyseessä oli hiilijalanjälkiselvitys, vaikutusarviointivaiheessa arvioitiin vain kasvihuonekaasujen vaikutuksia. Selvityksessä käytettiin PAS 2050 -ohjeistuksen mukaista vaikutusarviointimenetelmää eli IPCC GWP 2007 100a -menetelmää. Vaikutusarvioinnin tuloksia analysoitiin suhteuttamalla hiilijalanjälki toiminnalliseen yksikköön. Tämän tarkastelun yksikkö oli kg CO<sub>2</sub>ekv/MWh<sub>lopputuotetta</sub>. Selvityksen tuloksia tai inventaariotietoja ei tässä opinäytetyössä kuitenkaan voida esittää, koska ne ovat salaiseksi luokiteltua tietoa.

### **Tuotantolaitoksen laskelma SimaPro 7.3 -ohjelmistolla**

Selvityksen laadinta voitiin aloittaa, kun tarvittavat inventaariotiedot oli kerätty. Ensimmäisenä ohjelmistoon luotiin uusi projekti selvitystä varten. Projektin alle kerättiin tiedot polttoaineiden tuotantoon kuuluvista prosesseista, syötteistä ja tuotoksista. Prosessien, syötteiden ja tuotosten sisäänkirjaamisessa pyrittiin käyttämään ohjelmiston tietokantoja. Inventaarioanalyysissä kerättyjen tietojen syöttämisen jälkeen tiedot kerättiin prosessivälilehdelle muodostamalla jokaisel-

le syönteelle ja tuotokselle oma prosessikorttinsa. Nämä erilliset prosessikortit yhdistettiin edelleen yhdeksi pääprosessikortiksi.

Seuraavaksi pääprosessikortille suoritettiin vaikutusarviointi käyttäen IPCC 2007 100a -menetelmää. Ohjelmisto laski kaikki aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt muuttaen ne hiilidioksidiekvivalentiksi. Laskelman tuloksista ohjelmisto muodosti edelleen verkkokaavion, josta voitiin nähdä kunkin syönteiden osuus lopullisesta hiilijalanjäljestä.

### **Tuotantolaitoksen laskelma GaBi 4 -ohjelmistolla**

Biodieseliä ja naftaa tuottavan laitoksen hiilijalanjälki laskettiin myös GaBi 4 -ohjelmistolla. Laskelma aloitettiin uuden projektin luomisella. Projektin alle määritettiin kaikki laitokseen kuuluvat prosessit ja niiden väliset ainevirrat. Prosessien ja ainevirtojen sisäänkirjaamisessa pyrittiin käyttämään vastaavia tietoja kuin SimaPro-ohjelmistolla tehdyssä laskelmassa, jotta eri laskelmien vertailukelpoisuus säilyisi. Tietojen syöttämisessä jouduttiin kuitenkin käyttämään osittain korvaavia tietoja, koska käytetyssä GaBin ohjelmistoversiossa ei ollut oikeuksia SimaProssa käytettyyn Ecoinvent-tietokantaan.

Laskelma suoritettiin vain kehdosta portille -rajauksella, koska tavoitteena oli saada vain yksi vertailtava tulos. Vaikutusarviointi suoritettiin CML 2001 GWP 100a -vaikutusarviointimenetelmällä, koska SimaProssa käytettyä IPCC 2007 GWP 100a -vaikutusarviointimenetelmää ei ollut käytettävissä. Vaikutusarvionnin tulokset olivat ristiriitaisia verrattuna SimaProlla saatuihin tuloksiin. Kaiken kaikkiaan GaBilla laskettu hiilijalanjälki oli 41 prosenttiyksikköä suurempi kuin SimaProlla laskettu hiilijalanjälki. Suurin ero laskelmien välille syntyi sähkönkulutusta kuvaavasta syönteestä. GaBi antoi sähkönkulutukselle yli kaksinkertaisen hiilijalanjäljen verrattuna SimaProlla laskettuun sähkönkulutukseen.

## 5 OHJELMISTOJEN ANALYSOINTI

Yksi tämän opinnäytetyön tavoitteista oli analysoida eri hiili- ja elinkaariohjelmistoja. Kunkin työhön valitun ohjelmiston kohdalla arvioitiin monipuolisesti muun muassa ohjelmiston käyttökokemusta. Jotta käyttökokemuksen vertailu olisi yhdenmukainen, sen suoritukseen luotiin yksinkertainen kuuden kysymyksen malli. Malli koostui seuraavista kysymyksistä:

1. Millainen ohjelmiston ulkoasu on?
2. Millaisen ohjeistusmateriaalin ohjelmisto tarjoaa?
3. Miten tiedonhaku tietokannoista tehdään?
4. Miten ohjelmisto esittää vaikutusarvioinnin tulokset?
5. Millainen ohjelmiston käytettävyys on?
6. Minkälainen ohjelmiston yleisvaikutelma on?

### 5.1 SimaPro 7.3

Ohjelmistona SimaPro on toimiva kokonaisuus, joka soveltuu erinomaisesti hiilijalanjälkiselvityksiin. Ohjelmisto käyttää hyväkseen useita tietokantoja. Useat tietokannat tarjoavat tietoa laajalti monilta eri aloilta, ja laskelman laatijalla on mahdollisuus valita tarpeitaan parhaiten vastaava tieto. Laaja tietoverkko mahdollistaa myös ohjelmiston soveltuvuuden lähes jokaiselle toimialalle. Moninaisen soveltuvuutensa ansiosta SimaProta on vaikea kohdentaa yhdelle tietylle toimialalle tai toimialoille, joille se soveltuisi parhaiten.

SimaPro-ohjelmisto erottuu toisista ohjelmistoista muun muassa tulosten esitystavassa. Tulokset on esitetty ohjelmistossa selkeästi ja johdonmukaisesti. SimaPro esittää vaikutusarvioinnin tulokset siten, että tuloksen koostumus ja osatekijät ovat selkeästi eriteltyinä. Lisäksi SimaPro osoittautui tässä opinnäytetyössä käsitellyistä ohjelmistoista ainoaksi ohjelmistoksi, jossa hiilijalanjäljen koostumus ilmoitetaan myös prosenttiosuuksina. Nämä ominaisuudet mahdollistavat ohjelmiston käyttämisen erityisesti prosessien ja tuotejärjestelmien kriittisten pisteiden paikallistamiseen. Kun järjestelmien kriittiset pisteet on paikallistettu, voidaan järjestelmää tai prosessia lähteä kehittämään.



SimaPro-ohjelmisto soveltuu myös tuotesuunnittelun apuvälineeksi syötteiden vertailuominaisuutensa ansiosta. Suunnitteluvaiheessa SimaPro-ohjelmisto mahdollistaa eri materiaalivalintojen vertailemisen, jolloin suunnittelija kykenee valitsemaan ympäristön kannalta edullisimman vaihtoehdon.

### **Käyttökokemus**

SimaPro:n käyttöliittymä on ulkoasultaan pelkistetty ja muistuttaa Windows-käyttöjärjestelmän resurssienhallintaa. Ohjelmiston käyttöikkuna on jaettu kahteen osaan. Vasemmassa laidassa on navigointipalkki, josta voidaan hallita kohteena olevan selvityksen asetuksia ja tietoja. Navigointipalkin vieressä on loput ikkunasta täyttävä tietokenttä. Tämä tietokenttä näyttää navigointipalkista valitun osa-alueen tiedot. Esimerkiksi valitsemalla navigointipalkista inventaario-osioista prosessit avautuu tietokenttään alas vetovalikko, josta käytettävissä olevia inventaariotietoja voidaan selata. Tietokenttä kertoo muun muassa käyttäjän valitseman tiedon kuvauksen, version, soveltuvat käyttökohteet, tietokannan ja ajankohdan, milloin tieto on kirjattu.

SimaPro-ohjelmisto tarjoaa internetistä saatavan ilmaisen demoversion. Demoversionossa käyttäjälle opastetaan ohjelmiston perustiedot ja mallinnusperiaatteet yksinkertaistetun elinkaarimallin avulla. Yksityiskohtaisempaa opastusta voi löytää yläpalkissa sijaitsevasta help-painikkeesta. Lisäksi SimaPro:n käyttöohjeet ovat saatavilla ilmaiseksi internetistä.

Ohjelmistossa tietokantojen käyttö on mahdollistettu manuaalisesti ja hakutoiminnon avulla. Tietojen haku manuaalisesti tehdään selaamalla tietokentän alasvetovalikkoja. Tietokantojen tiedot ovat otsikoituina siten, että manuaalinen navigointi niissä on johdonmukaista. Ohjelmisto tarjoaa myös hakutoiminnon tietojen keräämiseen. Tässä hakutoiminnossa määritellään hakusana, joka on tiedon nimi kokonaisuudessaan tai osa sitä. Lisäksi hakutoimintoon voidaan valita useita hakukriteereitä, joilla hakua voidaan rajata tiettyyn osa-alueeseen.

SimaPro 7.3 -ohjelmiston yksi parhaista puolista on tulosten esitystapa. Ohjelmisto muodostaa vaikutusarvioinnin tuloksista johdonmukaisen tuloskaavion (kuva 14), josta voidaan tarkastella tuloksen koostumusta. Lisäksi tulokset voi-

daan muuntaa prosenttiosuuksiksi, jolloin voidaan tarkastella kunkin osatekijän prosentuaalista osuutta lopullisesta tuloksesta.

Ainoana negatiivisena puolena ilmeni kuitenkin se, että ohjelmisto antaa lopputuloksen vain kahden desimaalin tarkkuudella. Sen sijaan välitulokset on esitetty useammalla desimaalilla kuin lopullinen tulos. Näin ollen voidaan päätellä, että lopullinen tulos on pyöristetty, mikä voi puolestaan aiheuttaa ongelmia tuloksen pohjalta toteutettavissa jatkolaskelmissa.

SimaPron käytettävyys on kaiken kaikkiaan selkeää ja johdonmukaista. Inventaariotietojen sisäänkirjaaminen on sisällytetty prosessikortteihin, joiden hallinta on helppoa. Lisäksi ohjelmisto mahdollistaa omien syötteiden luomisen eli käyttäjällä on mahdollisuus määritellä luomansa syötteen tai tuotoksen päästökeruimet itse. SimaPro-ohjelmiston tuloskaaviosta voidaan muodostaa kuvia ohjelmiston export-toiminnon avulla, jotka voidaan edelleen liittää selvityksiin.

Yleisvaikutelma ohjelmistosta on hyvin selkeä ja asianmukainen. Navigointipalkin ansiosta kaikki selvityksessä tarvittavat inventaariotiedot, asetukset ja määrittelyt on helppo asettaa. Tietokentässä oleva kuvaus helpottaa syötteiden, prosessien ja tuotosten valitsemisessa. Kuvaus kertoo myös tietokannasta saadun inventaariotiedon sisällöstä. Lisäksi ohjelmisto tarjoaa vertailumahdollisuuden eri tietojen välillä. Vaikutusarvioinnin suoritus on kaiken kaikkiaan tehty helpoksi ja johdonmukaiseksi. Kokonaisuudessaan SimaPro on kattava LCA-ohjelmisto, joka on kokeneen käyttäjän käsissä tehokas ympäristötekijöiden mallinnustyökalu.

## **5.2 GaBi 4**

GaBi 4 -ohjelmisto vaatii käyttäjältään ennen kaikkea asiaan perehtymistä sekä hyviä taustatietoja. Lisäksi ohjelmisto vaatii elinkaariarvioinnin perusteiden tuntemista sekä tarkat tiedot tarkasteltavan järjestelmän syötteistä ja tuotoksista. Kuten SimaPro, myös GaBi 4 hyödyntää useita tietokantoja laskelmissaan, joten ohjelmistolla on käytettävissä laaja tietoverkko. Tämän ansiosta GaBi 4 -ohjelmisto sopii useille eri toimialoille.

Ohjelmistona GaBi 4 poikkeaa toisista ohjelmistoista mallinnusperiaatteessa. Mallinnuksessa ero toisiin tässä opinnäytetyössä käsiteltyihin ohjelmistoihin on se, että prosessit yhdistetään toisiinsa ainevirroilla, jolloin prosessien väliset yhteydet tulevat esille. Ainevirrat voidaan asettaa kuvaamaan käyttäjän valitsemaa suuretta, kuten esimerkiksi massaa tai energiaa.

Prosessien yhdistäminen lisää laskelman tekemiseen kuluvaan aikaan, ja yhteyksien luominen ei aina ole sujuvaa. Kun prosessien väliset yhteydet saadaan syötettyä malliin, jää laskelman laatijalle hyvä kokonaiskuva selvityksen kohteena olevasta tuotejärjestelmästä. Tämän ansiosta GaBi 4 -ohjelmisto soveltuu muun muassa tuotejärjestelmässä käytettävien resurssien kartoittamiseen. Lisäksi ohjelmistolla luotu malli kuvaa hyvin tuotejärjestelmän yksikköprosessien keskinäisiä yhteyksiä.

Tässä opinnäytetyössä suoritettujen esimerkkilaskelmien perusteella GaBilla saadut tulokset ovat ristiriitaisia toisilla ohjelmistoilla saatujen tulosten kanssa. Koska GaBilla saadut tulokset poikkeavat merkittävästi sekä kipsilevyseinän että tuotantolaitoksen mallilaskelmien osalta, voidaan GaBi 4 -ohjelmiston luotettavuutta pitää kyseenalaisena.

### **Käyttökokemus**

GaBi 4 -ohjelmiston ulkoasu on hyvin samankaltainen kuin SimaPro-ohjelmiston ulkoasu. Käyttöliittymän rakenne muodostuu kahdesta osiosta. Vasemmassa laidassa on navigointipalkki, jolla voidaan selata ohjelmiston tietokantoja sekä hallita projektin tietoja. Navigointipalkin oikealla puolella on tietoiikkuna, josta voidaan tarkastella navigointipalkista valittujen aihealueiden sisältöjä. Ohjelmiston tietokannat on jaoteltu navigointipalkissa kahteen osa-alueeseen. Prosessit-osa-alue sisältää tietokantojen prosessien tiedot. Flow-osa-alue taas sisältää tiedot eri ainevirroista, kuten resursseista ja päästöistä.

PE International tarjoaa GaBi 4 -ohjelmistoon kattavan video-ohjeistuksen internet-sivuillaan. Ohjeistuksessa opastetaan perusasioita, joita tarvitaan ohjelmiston käyttöön, kuten elinkaariajattelun perusteita, tietokantojen käyttöä ja laskentamallien laatimista. Lisäksi ohjeistuksessa opastetaan luomaan elinkaarimalli paperiliittimelle. Tämä ohjeistus antaa perustiedot GaBi-ohjelmiston käyt-

töön, mutta vaativampien laskelmien laatimista ei opasteta. Ohjeistuksen avulla kokematonkin käyttäjä kykenee kuitenkin luomaan yksinkertaisia laskentamalleja.

Tietokantojen käyttöä on selkeästi suunniteltu, ja se toimii jouhevasti. Tietojen asettaminen toimii suurimmaksi osaksi hakutoiminnon avulla, jolloin tieto haetaan hakusanan avulla. Hakutoimintoa käytettäessä on navigointipalkissa oltava valittuna aihealue, josta tietoja haetaan. Esimerkiksi jos haetaan tiettyä prosessia, täytyy prosessin alue olla valittuna navigointipalkista. Ongelmana tietojen valitsemisessa on, että tiedoissa on niukasti eriteltyinä se, mitä kukin tieto pitää sisällään. Tämä ongelma aiheuttaa epävarmuutta laskelmiin, koska laskija ei voi olla varma, mitä välivaiheita mikäkin tieto sisältää. Esimerkiksi dieselpolttoaineen tiedoissa ei kerrota, mitä valmistusvaiheita tai välikuljetuksia inventaariotiedossa on huomioitu tai jätetty huomioimatta.

Tietojen asettaminen malliin ei aina sujunut ongelmitta. Jos mallissa olevaan prosessiin haluttiin lisätä ainevirtoja, tehtiin sekin hakutoiminnon avulla. Ainevirtojen lisäyksessä ohjelmisto ei anna jättää aktivoitua ainevirtakohtaa tyhjäksi, jolloin mallia ei voida työstää eteenpäin, ennen kuin aktivoitu ainevirtakohta on täytetty. Esimerkiksi jos hakutoiminto ei löydä etsittyä ainevirtaa, joudutaan se etsimään manuaalisesti tietokannoista. Ohjelmisto sallii pääsyn tietokantoihin vasta, kun aktivoitu ainevirtakohta on täytetty. Laskelman laatijan on valittava jokin väliaikainen ainevirta tähän kohtaan, jotta ohjelmisto sallii pääsyn tietokantoihin.

Vaikutusarvioinnin suorittaminen oli yksinkertaista ja arvioinnin suorittaminen nopeaa. Vaikutusarvioinnin tulosten esityksessä ohjelmisto jätti kuitenkin toivomisen varaa. Tulokset esitetäänkin erittäin niukasti, vain numeerisen arvon avulla. Ohjelmisto ei muodosta visuaalista kaaviota tai taulukkoa saaduista tuloksista. Yksittäinen numeerinen arvo ei myöskään kerro hiilijalanjäljen koostumuksesta tai siitä, paljonko kunkin osatekijän osuus on lopullisesta hiilijalanjäljestä. GaBi-ohjelmiston antaman tuloksen perusteella on siis käytännössä vaikeaa tehdä laskennan kannalta johtopäätöksiä tai analysointeja.

Jos tuotejärjestelmän sisällä olevan yksikköprosessin aiheuttama hiilijalanjälki halutaan arvioida, täytyy se mallintaa omana kokonaisuutenaan. GaBi 4 -ohjelmiston mallinnuksessa on suositeltavaa mallintaa jokainen tuotejärjestelmään kuuluva yksikköprosessi omana alasuunnitelmanaan, jolloin prosesseille voidaan suorittaa yksittäisiä vaikutusarviointeja. Jos järjestelmää halutaan tarkastella kokonaisuutena, on yksittäisistä prosesseista muodostetut alasuunnitelmat kerättävä yhteen suunnitelmaikkunaan. Näin voidaan edelleen suorittaa koko tuotejärjestelmän kattava vaikutusarviointi.

Ohjelmiston sujuva käytettävyys saavutettiin vasta usean laskelman jälkeen. Tässä opinnäytetyössä käytetyssä ohjelmiston versiossa oli joitakin epäkohtia. Esimerkiksi jokaisella syötetyllä prosessilla oli oma painoarvokerroin. Painoarvokertoimella on asetusarvo, jolla kerrotaan prosessin syötteiden ja tuotosten määrät. Yhdisteltäessä syötteitä toisiinsa ongelmaksi muodostuivatkin ohjelmiston automaattisesti asettamat painoarvokertoimet. Kun laskelman tekijän asettamat syötemäärät olivat määriteltynä prosessitiedoissa, ohjelmisto sekoitti arvot muuttamalla painoarvokerrointa. Laskelman laatijan oli korjattava ohjelmiston asettamat painoarvokertoimet arvoon yksi, jolloin prosesseille määritetyt tiedot saatiin oikein.

Yleisesti GaBi 4 vaatii laskelman laatijalta enemmän muun muassa elinkaariarvioinnin teorian tuntemista sekä kokemusta laskelmien suorittamisesta. Mallien laatiminen on työläämpää kuin muilla tässä opinnäytetyössä laskelmissa käytetyillä ohjelmistoilla. Lisäksi mallien laatimiseen kuluu enemmän aikaa, koska prosessien syötteiden välivaiheet, kuten välikuljetukset, on määriteltävä itse. Suurin puute GaBi 4 -ohjelmistossa on kuitenkin tulosten esitystavassa. Tulokset ovat selvityksen päämäärä, ja jos tuloksia ei saada kohtuudella näkyviin, on ohjelmistossa kehittämisen varaa.

### **5.3 Product Ecology**

Product Ecology -ohjelmisto on suunnattu pääosin hiilijalanjälkiselvitysten laatimiseen, mutta ohjelmisto ilmoittaa myös elinkaaren aikaisen veden käytön sekä syntyvien jätteiden määrän. Lisäksi Product Ecologylla kyetään avustamaan ympäristömääräysten noudattamista sekä vertailemaan eri materiaalien ympä-

ristövaikutuksia. Ohjelmisto käyttää Ecoinvent-tietokantaa, joka on riittävä useimpiin hiilijalanjälkiselvityksiin.

Toisin kuin muita tässä opinnäytetyössä käsiteltyjä ohjelmistoja, Product Ecology käytetään internet-käyttöliittymän kautta. Internet-käyttöliittymä toimii nopeasti, eikä ohjelmisto vaadi erillistä asentamista. Toisaalta internet-käyttöliittymään voi liittyä myös mahdollinen tietoturvariski.

Koska ohjelmisto on selvästi suunnattu hiilijalanjälkiselvitysten laatimiseen, on se pystytty pitämään kevyenä ja selkeänä. Ohjelmisto soveltuu loistavasti erilaisille suunnittelutoimistoille, koska ohjelmiston käyttäminen ei vaadi elinkaariarvioinnin teorian täydellistä osaamista. Erityisesti ohjelmisto soveltuu materiaali-valintojen vertailemiseen EcoCompare-työkalun ansiosta, jolloin suunnittelija kykenee vertailemaan eri materiaalien ympäristövaikutuksia keskenään. Lisäksi Product Ecologyn lisenssi on edullinen verrattuna toisiin ohjelmistoihin.

Product Ecology on ohjelmisto, jota suunnittelutoimistot voisivat käyttää suunnitteluprojektien ohessa tuotteiden ilmastovaikutusten kartoittamisessa. Ohjelmiston kevyen ja nopean käytettävyyden ansiosta ilmastovaikutusten mallintamiseen ei kuluisi merkittävästi lisääaikaa. Tuotteiden ilmastovaikutusten mallintamisella suunnittelutoimistot voisivatkin antaa ympäristövastuullisen kuvan itsestään.

Ohjelmiston käytettävyyttä lisäävät myös sen raportointi- ja osaluettelotyökalut. Product Ecology mahdollistaa tulosten raportoimisen yhdellä napin painalluksella. Raportointityökalu muodostaa PDF-muodossa olevan raportin, jossa on esitetty kaikki tärkeimmät tiedot, kuten tulosten yhteenveto, visuaaliset kaaviot sekä tulosten erittely. Lisäksi Product Ecologylla voidaan luoda valmiita osaluettelolista tuotteessa käytettävistä materiaaleista ja prosesseista (kuva 6). Ohjelmisto mahdollistaa myös osaluetteloiden kääntämisen Excel-taulukoksi, minkä jälkeen tietoja voidaan muokata. Näiden ominaisuuksiensa ansiosta Product Ecology soveltuu erinomaisesti muun muassa tuotteiden ympäristömyötäiseen suunnitteluun (DfE, Design for Environment) ja sen raportointiin.

## Käyttökokemus

Ulkoasultaan Product Ecology on selkeä ja enemmän kaupallisen ohjelmiston näköinen verrattuna toisiin tässä opinnäytetyössä analysoituihin ohjelmistoihin. Ohjelmiston kolme päätoimintoa ovat valittavissa käyttöliittymän aloitussivulla. Päätoiminnot voidaan valita myös käyttöikkunan oikeasta ylänurkasta. Ohjelmiston suunnittelussa on selvästi keskitytty käytettävyyteen, mikä ilmenee selkeänä ja yksinkertaisena käyttöliittymänä. Ohjelmiston ulkoasussa on myös kiinnitetty huomiota värivalintoihin sekä ohjelmiston ulkoasun muotoihin.

Ohjelmistossa ohjeistus on järjestetty käyttöliittymän yhteyteen. Suunnittelun yhteydessä ohjelmiston käyttöä opastetaan käyttöikkunan ylä laidassa olevan ohjeistuksen avulla. Product Ecologysta on saatavilla lisäksi ilmainen kokeilulisanssi ohjelmiston internet-sivuilta. Kokeilulisanssissa on kaksi malliesimerkkiä, joista voidaan tarkastella muun muassa syötteiden sisäänkirjaamista. Product Ecologyn selkeän käytettävyyden ansiosta ohjelmiston käyttö ei kuitenkaan vaadi yksityiskohtaista ohjeistusta.

Product Ecology käyttää laskelmissaan Ecoinvent v.2 -tietokantaa. Tietojen haku tietokannasta toimii täysin hakutoiminnon avulla. Hakutoimintoon syötetään syötettä tai tuotosta kuvaava hakusana. Hakutoiminto esittää hakutulokset selkeästi jäsenneltyinä. Hakutulokset on jäsennelty toimialakohtaisesti, kuten esimerkiksi elektroniikka, rakennusmateriaalit, muovit tai teräkset. Tämän ansiosta käyttäjän on helppo selata hakutuloksia ja valita tarvitsemansa tieto. Kuljetukseen ja jakeluun liittyvät tiedot syötetään seuraavalla välilehdellä.

Ohjelmiston keveys asettaa ohjelmiston käyttöön tiettyjä rajoitteita. Product Ecologyn suurin puute on se, että ohjelmiston käyttäjällä ei ole mahdollisuutta määritellä itse syötteiden tai tuotosten päästökertoimia. Tämän seurauksena ohjelmiston laskelmat perustuvat täysin tietokantojen inventaariotietoihin. Lisäksi syötteiden tai tuotosten yksiköiden muuttaminen ohjelmistossa on estetty.

Vaikutusarviointi ei vaadi erillistä analyysin tai laskennan suorittamista. Ohjelmisto esittää vaikutusarvioinnin tulokset viimeisellä välilehdellä. Product Ecology muodostaa tuloksista numeeristen arvojen lisäksi visuaaliset kaaviot, joista tulosten koostumusta voidaan tarkastella (kuvat 16 ja 17). Myös eri yksikköpro-

sessien osuutta lopullisesta tuloksesta voidaan tarkastella Live Chart -toiminnon avulla.

Negatiivisena puolena tulosten esitystavassa on kokonaishiilijalanjäljen puuttuminen, missä kaikki neljä elinkaaren vaihetta olisivat summattuna yhteen numeriseen arvoon. Jos laskelman laatija haluaa kokonaistuloksen, on se summattava erillisellä laskimella. Puute ei siis ole suuri, mutta se vähentää käyttömukavuutta. Lisäksi Product Ecologyssa ilmeni ongelmia eri selaimien välillä. Windows Internet Explorer -selaimella tuloksista muodostuvat visuaaliset kaaviot eivät näkyneet. Mozilla Firefox -selain puolestaan näytti kyseiset kaaviot. Tämän perusteella Product Ecologyn käyttöselaimeksi voidaan suositella Mozilla Firefox -selainta.

Käytettävyydessään Product Ecology voittaa tässä opinnäytetyössä käytetyt LCA-ohjelmistot, kun kyseessä on hiilijalanjälkilaskelma. Product Ecology -ohjelmisto opastaa käyttäjää työkalujen valitsemisessa sekä laskentamallien luomisessa. Lisäksi yksinkertaisen ja selkeän käyttöliittymän ansiosta on epätodennäköistä, että käyttäjä valitsisi tarpeisiinsa väärän laskentatyökalun. Ohjelmiston käytettävyyteen on selkeästi kiinnitetty huomiota, joten siitä on vaikea löytää huomauttamista.

Ensivaikutelma Product Ecology -ohjelmistosta herätti tiettyjä kyseenalaistuksia. Ohjelmisto tuntui liian kevyeltä ja yksinkertaiselta verrattuna SimaPro- ja GaBi-ohjelmistoon. Nämä olettamukset osoittautuivat kuitenkin perättömiksi, sillä Product Ecologylla kyettiin luomaan laskentamalleja, joiden tulokset olivat lähellä LCA-ohjelmistojen tuloksia. Product Ecology todisti kykenevänsä hiilijalanjälkilaskentatyökaluksi. Lisäksi ohjelmisto osoittautui nopeaksi ja käyttäjäystävälliseksi muun muassa osaluettelo- ja raportointityökalujensa ansiosta.



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA VALINTAMALLI

### 6.1 Hiilijalanjäljen käyttökohteet

#### 6.1.1 Yritykset ja kuluttajat

Yrityksille hiilijalanjälki on hyödyllinen menetelmä, jolla voidaan kartoittaa toiminnan tai kohteiden niin sanotut kriittiset pisteet eli kohteet, jotka kuluttavat paljon resursseja ja tuottavat paljon päästöjä. Päästöjen kartoittamisella saadaan hyvä kokonaiskuva tuotejärjestelmään kuuluvista prosesseista ja siitä, kuinka paljon resursseja kukin prosessi kuluttaa. Paljon resursseja kuluttavat kohteet ovat usein potentiaalisia kohteita, joista voidaan saada säästöjä optimoinnin avulla.

Hiilijalanjälkeä voidaan käyttää myös yrityksen eri toimintojen kehitystä mittaavana työkaluna. Säännöllisin väliajoin suoritetuilla hiilijalanjälkiselvityksillä voidaan kartoittaa tarkastelun kohteena olevan toiminnon tai prosessin kehityksen suunta. Esimerkiksi energiatehokkuuden parantuminen näkyy pienempänä hiilijalanjälkenä. Hiilijalanjäljen etuna on myös sen kattavuus, eli järjestelmää tarkastellaan kokonaisuutena, joka tiivistetään yhteen numeeriseen arvoon, hiilijalanjälkeen. Koska hiilijalanjäljellä tarkastellaan resurssien ilmastovaikutuksia ja sen tulokset kertovat resurssien käytön tehokkuuden, soveltuu hiilijalanjälki erinomaisesti yrityksen tai organisaation kestävä kehityksen mittaamiseen.

Kuten yrityksissä, hiilijalanjälkeä voidaan soveltaa myös yksittäisen kuluttajan toiminnasta aiheutuvien päästöjen kartoittamiseen. Päästöjen kartoittamisella kuluttajat kykenevät havaitsemaan ne toimet, jotka aiheuttavat eniten päästöjä. On tavallista, että taloudelliset kulut ovat suoraan verrannollisia aiheutettuihin päästöihin, eli paljon päästöjä tuottavat kohteet tai toimet aiheuttavat myös paljon kustannuksia. Esimerkkinä paljon päästöjä tuottavista ja samalla kuluttajille kustannuksia aiheuttavista toimista ovat autoilu ja energian kulutus. Nämä ovat tekijöitä, joihin jokaisella on mahdollisuus vaikuttaa. Jos edellä mainituista kohteista kyetään vähentämään päästöjä, voidaan samalla saavuttaa taloudellisia säästöjä.

Internet tarjoaa kuluttajille useita ilmaisia hiilijalanjälkilaskureita. Vaikka laskureissa ei mainitakaan menetelmiä tai huomioitavia kasvihuonekaasuja, ovat laskurit riittävän tarkkoja yksittäisen kuluttajan käyttötarkoitukseen. Laskureiden avulla jokainen kykenee laskettamaan suuntaa-antavat arviot tuottamistaan päästöistä.

### **6.1.2 Toimialat**

Hiilijalanjälki soveltuu menetelmänä myös useille eri toimialoille. Menetelmän laaja käyttömahdollisuus perustuu siihen, että hiilijalanjälki voidaan määrittää jokaiselle toiminnalle, prosessille, palvelulle, tuotteelle tai ihmiselle. Tässä luvussa on esitelty esimerkkejä hiilijalanjäljen mahdollisista käyttökohteista eri toimialoilla.

Elintarviketeollisuudessa hiilijalanjälki on laajalti käytetty menetelmä. Erityisesti pakkauksissa hiilijalanjälki on huomioitu hyödyntämällä ympäristöystävällisiä materiaaleja tai kierrätysmateriaaleja. Pakkaukset ovat helppo kohde pienentää tuotteiden hiilijalanjälkeä, koska pakkausten muuttaminen ei vaadi merkittäviä prosessiuudistuksia. Menetelmänä hiilijalanjälkeä voitaisiin hyödyntää entistä laajemmin ja tehokkaammin soveltamalla sitä pakkausten ohella myös elintarviketeollisuuden prosessien kehittämiseen sekä resurssien käytön optimoimiseen tuotteiden valmistuksessa. Esimerkiksi viljelyn tehostamisella voitaisiin vähentää siihen käytettävän maa-alan kokoa, joten tulevaisuudessa viljely voisi vaatia entistä vähemmän maa-alueiden muuttamista viljelykäyttöön.

Suomessa tällä hetkellä kasvava kaivosteollisuus sisältää useita potentiaalisia käyttökohteita hiilijalanjäljelle. Kaivosteollisuudessa käytetään paljon erityyppisiä prosesseja, joihin hiilijalanjälkimenetelmää voitaisiin soveltaa. Koska ala on nopeasti kasvava, ei prosessien kehittämiseen ole välttämättä käytetty tarpeeksi aikaa. Hiilijalanjälkimenetelmällä kyettäisiinkin paikallistamaan juuri ne prosessit, joiden toimintaa voitaisiin kehittää entistä tehokkaammaksi ja tuottavammaksi.

Myös energiateollisuus käyttää toiminnassaan useita erityyppisiä prosesseja. Koska energiateollisuutta on ollut jo pitkään, voi prosesseissa olla käytössä

vanhentunutta tekniikkaa. Esimerkiksi iäkkäiden pumppujen hyötysuhteet eivät välttämättä vastaa uusien pumppujen hyötysuhdetta tai pumpuissa ei käytetä taajuusmuuttajia. Hiilijalanjälkiselvityksellä olisikin mahdollista paikantaa vanhaa ja tehotonta laitekantaa hyödyntävät prosessit, joita voitaisiin tehostaa laitteiden uusimisella. Tämän myötä saavutettaisiin päästöjen vähenemistä ja rahallisia säästöjä. Tätä menettelyä voidaan hyödyntää myös muilla toimialoilla.

Hiilijalanjälki soveltuu myös eri energialaitostyyppien vertailemiseen. Päästörajitusten kiristyessä laitoksen ilmastovaikutukset ovat yhä merkittävämmässä osassa suunniteltaessa uusia energialaitoksia ja tehtäessä niiden hankintapäätöksiä. Hiilijalanjäljellä voidaan vertailla muun muassa eri polttoainevaihtoehtoja sekä eri polttotekniikoita. Polttoaineiden vertailussa hiilijalanjälki on kattava menetelmä, koska sillä voidaan huomioida poltosta vapautuvien kasvihuonekaasujen lisäksi myös polttoainehuollosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt.

Tulevaisuudessa rakennusteollisuudessa rakennusten ympäristöystävällisyyttä olisi mahdollista kuvata hiilijalanjäljellä. Hiilijalanjälki sopisi kyseiseen tarkoitukseen, koska hiilijalanjälki huomioi muun muassa sen, millaista energiaa rakennuksessa käytetään tai säästetään. Hiilijalanjälki osoittaisi rakennuksen ympäristöystävällisyyden yhdellä numeerisella arvolla. Menetelmällä voitaisiin kuvata rakennuksen koko elinkaaren aikaiset päästöt aina rakentamisesta rakennuksen käyttöön ja sen hävittämiseen asti. Esimerkiksi eristämällä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen käytöstä aiheutuvien päästöjen syntymiseen energiankulutuksen muodossa.

Kaiken kaikkiaan tuotteiden ja niissä tarvittavien materiaalien kuljetukset sekä valmiiden tuotteiden jakelu ovat usein merkittäviä hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä hyvin monella eri toimialalla. Lisäksi kuljetukset ovat yleinen osa tuotejärjestelmiä. Hiilijalanjäljellä voidaan kartoittaa eri kuljetusmuotojen päästöt, jolloin niitä voidaan vertailla keskenään. Esimerkiksi voidaan puntaroida, kannattaako jotain materiaalia hankkia kauempaa edullisemmalla hinnalla, jolloin kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä olisi suurempi. Toisaalta voidaan pohtia, olisiko vastaava materiaali saatavissa lähempää vaikka hieman kalliimmalla, jolloin

kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä olisi puolestaan pienempi. Nämä ovat valintoja, joihin vaikuttavat yrityksen sisäiset arvot, periaatteet ja tavoitteet.

Yleisesti hiilijalanjälki sopii erityisesti yritykselle, jonka tavoitteena on keskittyä kestävään kehitykseen. Menetelmänä hiilijalanjäljellä voidaan huomioida tuotteen tai palvelun koko tuotejärjestelmä aina raaka-aineiden materiaaleista valmiisiin lopputuotteisiin asti, jolloin muun muassa materiaalivalintojen merkittävyyttä ympäristön kannalta voidaan puntaroida. Lisäksi hiilijalanjäljen laskelmissa huomioidaan se, millaista energiaa tuotejärjestelmässä käytetään. Esimerkiksi tuulisähkö on päästöllisesti paljon pienempi energiamuoto kuin kivihiilellä tuotettu lauhdesähkö, ja näin ollen se vastaa paremmin kestävä kehityksen periaatteita. Taulukossa 7 on esitetty yhteenvetona hiilijalanjäljen nykyisiä ja tulevaisuuden käyttökohteita eri toimialoilla.

TAULUKKO 7. Yhteenveto hiilijalanjäljen käyttökohteista eri teollisuudenaloilla

Teollisuudenala	Käyttökohde	
Elintarviketeollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viljelyn tai valmistuksen optimointi</li> <li>• pakkausten optimointi</li> <li>• maankäytön muutosten vaikutukset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• päästöjen kartoitus</li> <li>• tuotteiden hiilijalanjälki</li> <li>• kestävän kehityksen mittaaminen</li> <li>• ympäristömerkinnät</li> <li>• toimitusketjujen ja kuljetusten päästökartoitus</li> <li>• ympäristövaikutusarvioinnin osa</li> </ul>
Metalliteollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prosessien optimointi</li> <li>• resurssien kartoitus</li> </ul>	
Energiateollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prosessien tai toimilaitteiden optimointi</li> <li>• polttoainehuolto</li> </ul>	
Kaivosteollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toiminnasta aiheutuvat ilmastovaikutukset</li> </ul>	
Rakennusteollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materiaalivalinnat</li> <li>• eristäminen</li> <li>• rakennusten hiilijalanjälki</li> </ul>	
Kemianteollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kemikaalien hiilijalanjälki</li> </ul>	
Metsäteollisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prosessien optimointi</li> </ul>	

## 6.2 Hiilijalanjälkiselvityksen toteutus

Hiilijalanjälki on menetelmä, jolla voidaan saavuttaa monia eri hyötyvaikutuksia. Jotta hiilijalanjälkiselvityksestä hyödyttäisiin mahdollisimman paljon, on suositeltavaa noudattaa seuraavia toimenpiteitä:

1. Tunnistetaan tarve hiilijalanjälkiselvitykselle.
2. Tunnistetaan tai valitaan selvityksen kohde.
3. Valitaan selvityksen tekijä tai tekijät.
4. Valitaan selvityksen lähtökohdat.

### **Hiilijalanjälkiselvityksen tarpeen tunnistaminen**

Hiilijalanjälkiselvitys lähtee liikkeelle aloitteesta. Aloite on yleensä joko pakollinen lainsäädännön tai säädösten asettama ympäristöselvitys tai yrityksen oma halu kehittää tai optimoida toimintaansa ympäristöystävällisemmäksi. Ennen selvityksen aloittamista olisi syytä laatia alustavat arviot siitä, mitä hiilijalanjälkiselvityksellä voidaan saavuttaa ja mitä siitä hyödytään. Tämä edesauttaa hiilijalanjälkiselvityksen kannattavuuden arviointia ja selkeyttää selvitykselle asetettavia tavoitteita.

### **Hiilijalanjälkiselvityksen kohteen tunnistaminen**

Kun hiilijalanjälkiselvitystä lähdetään laatimaan, on ensiarvoisen tärkeää tietää, onko kyseessä tuote, prosessi tai palvelu. Kohteen tunnistamisella helpotetaan laskentatapojen valitsemista sekä voidaan huomioida mahdolliset kohteen ympäristösäädökset tai -direktiivit. Lisäksi kun kohde on selvillä, voidaan valita kohteelle sopivin laskentaohjeistus sekä -ohjelmisto.

### **Selvityksen tekijän tai tekijöiden valinta**

Hiilijalanjälkiselvitystä suunniteltaessa on päätettävä, kuka selvityksen laatii. Jos yrityksellä ei ole tarvittavaa ammattitaitoa tai työkaluja, on suositeltavaa teettää selvitys konsultointipalveluina. Edelleen jos tarve hiilijalanjälkiselvityksille on kasvava, kannattaa harkita oman laskentatyökalun hankkimista ja mahdollista työntekijöiden koulutusta. Hiilijalanjälkiselvitykset vaativat aina kohteeseen tutustumista ja laskelmien suorittamisen ammattitaitoa. Lisäksi laskentatyökalut vaativat kokeneen käyttäjän, jotta niillä voidaan saada luotettavia tuloksia.

### **Selvityksen lähtökohtien valinta**

Hiilijalanjälkiselvitys voidaan toteuttaa usealla tavalla. Tämän vuoksi yrityksen olisi suotavaa muodostaa ohjeistus siitä, miten kaikki sille tehtävät hiilijalanjälkiselvitykset toteutettaisiin. Ohjeistus sisältäisi hiilijalanjälkiselvityksen käytännön asiat, kuten selvityksissä noudatettavat hiilijalanjälkiohjeistukset, standardit ja raportin rakenteen. Lisäksi ohjeistuksessa voitaisiin antaa suuntaviivoja selvityksissä käytettäville rajauksille. Jos hiilijalanjälkiselvityksen tilaaja ei kykene luomaan itse ohjeistusta, voitaisiin se myös teettää konsultointipalveluina.

Kokonaisuudessaan ohjeistus toimisi hiilijalanjälkiselvityksen aloituspakettina, jonka tilaaja toimittaisi selvityksen laatijalle. Ohjeistuksen avulla tilaajalle laaditut hiilijalanjälkiselvitykset olisivat yhdenmukaisia ja niiden vertailukelpoisuus parani. Lisäksi aloituspaketti nopeuttaisi hiilijalanjälkiselvityksen toteutusta, koska käytännön asioita ei tarvitsisi erikseen sopia.

### **6.3 Hiilijalanjälkiselvityksen raportointi**

Hiilijalanjälkiselvityksestä laaditaan lopuksi aina kirjallinen asiakirja, raportti. Raportin tehtävänä on välittää hiilijalanjälkiselvityksen tulokset selvityksen tilaajalle. Lisäksi raportilla voidaan välittää selvityksen pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä tai mahdollisia suosituksia. Jotta selvityksen tilaaja saisi selvityksestä maksimaalisen hyödyn, tulee raportin olla mahdollisimman johdonmukainen ja selkeärakenteinen. Raportin tulee sisältää aukottomasti tiedot kaikista oleellisista hiilijalanjälkeen vaikuttavista syötteistä ja tuotoksista. Jos selvityksessä on suoritettu herkkyystarkastelu tai muita olennaisia lisätoimenpiteitä, tulee myös niiden sisältyä raporttiin.

Raporttien ongelmana on usein niiden huono vertailtavuus ja eroavat rakenteet. Raportoinnissa olisikin hyvä käyttää samaa rakennetta ja samaa asajärjestystä. Esimerkiksi raportin rakenteen perustana voisi toimia ISO 14040 -standardin määrittelemät elinkaariarvioinnin päävaiheet. Nämä neljä vaihetta muodostaisivat raportin rakenteen, ydinosan. Ydinosassa elinkaariarvioinnin neljä vaihetta toimisivat pääotsikoina. Ydinoa sijoittuisi aina raportin alkuun, jolloin raportti etenisi johdonmukaisesti. Mahdolliset lisäselvitykset, kuten herkkyysanalyysit, sijoitettaisiin ydinosan jälkeiseen osioon. Tavoitteena tällä menettelyllä olisi, että samankaltaiset tiedot esiintyisivät aina samoissa kohdissa raportista riippumatta. Seuraavassa on esitetty hiilijalanjälkiselvitysraportoinnin tavoiterakenne:

1. tavoitteet ja soveltamisala
2. inventaarioanalyysi
3. vaikutusarviointi
4. tulkintavaihe
5. lisäselvitykset.

Lisäksi raporttien laadinnassa käytettäisiin aina samoja otsikoita, rakenteita ja asiajärjestyksiä, jolloin raporteista saataisiin yhdenmukaisia. Lähtökohtaisesti myös raportin laatijan osuus helpottuisi, jos rakenne olisi aina sama. Tavoitteena olisikin muodostaa kaava, jonka avulla raportin laatija kykenisi välittömästi kirjaamaan raporttiin sisällytettävät tiedot oikeisiin kohtiin. Raporttien yhdenmukainen rakenne parantaisi näin ollen raporttien keskinäistä vertailua sekä nopeuttaisi raporttien laadintaa ja tarkastamista.

#### **6.4 Hiili- ja elinkaariohjelmiston valintamalli**

Tämän opinnäytetyön yhtenä päätavoitteena oli luoda hiili- ja elinkaariohjelmiston valintamalli. Mallin luomisessa käytettiin osittain apuna WSP Finlandin sisäistä materiaalia. Valintamallin tarkoituksena on tuoda ilmi hiili- ja elinkaariohjelmiston valinnassa huomioitavat seikat. Valintamalli toteutetaan niin sanotulla askelperiaatteella, eli mallissa edetään kohta kohdalta kerrallaan. Valintamallin tarkoituksena on varmistaa maksimaalinen hyödyn saanti ohjelmistohankinnasta. Valintamallin rakenne on seuraavanlainen:

1. Tunnistetaan toimialat, joissa ohjelmistoa voidaan hyödyntää.
2. Kartoitetaan ohjelmiston käyttäjäryhmät.
3. Tunnistetaan ohjelmiston tarpeen jatkuvuus.
4. Kartoitetaan ohjelmistolta vaadittavat ominaisuudet.
5. Kartoitetaan ohjelmiston yhteensopivuus jo olemassa olevien ohjelmistojen kanssa.
6. Laaditaan tarjouspyyntö.

##### **Toimialan tunnistaminen**

Valintamallin ensimmäisessä askeleessa tunnistetaan toimiala tai toimialat, joita varten ohjelmistoa lähdetään hankkimaan. Tietyt toimialat saattavat asettaa omia pakotteita ympäristöselvityksiin, laskelmiin ja raportointiin, joten nämä pakotteet olisi syytä huomioida heti valinnan alkuvaiheessa. Kun toimiala on tiedossa, ohjelmistoista voidaan kartoittaa juuri valitulle toimialalle parhaiten soivat ohjelmistot.



## **Käyttäjärühmien kartoitus**

Ohjelmiston hankintavaiheessa on tärkeää huomioida yrityksen eri osa-alueilta kaikki käyttäjärühmät, jotka voisivat hyötyä hankitavasta hiili- ja elinkaariohjelmistosta. Ohjelmistot soveltuvat usein monelle eri toimialalle ja edelleen niiden eri osa-alueille. Tämän vuoksi on tärkeää, että monialaisissa yrityksissä ohjelmisto sopisi mahdollisimman monelle yrityksen toimialalle, jolloin ohjelmistosta saataisiin maksimaalinen hyöty.

Usein eri toimialojen yhteistyössä hankittu ohjelmisto edes auttaa eri toimialojen välistä työskentelyä. Käyttäjärühmien kartoittamisvaiheessa voidaan samalla kartoittaa alustavaa listaa ohjelmistolta vaadittavista ominaisuuksista. Sitomalla kaikki käyttäjärühmät ohjelmiston hankintaprosessiin mahdollistetaan ohjelmistolta vaadittavien ominaisuuksien kartoittaminen.

Hankintaprosessin alkuvaiheessa käyttäjärühmiä kartoitettaessa olisi myös suotavaa muodostaa hankintatiimi ohjelmiston hankintaa varten, jossa kaikki käyttäjärühmät olisivat edustettuina. Jokainen käyttäjärühmä valitsisi keskuudestaan edustushenkilön, jonka kautta kyseisen käyttäjärühmän toiveet välitettäisiin hankintatiimille. Hankintatiimin avulla hankintaprosessia voitaisiin hallita järjestelmällisesti sekä hankintaprosessin aikataulutus yksinkertaistuisi. Ohjelmiston hankinnassa on oleellista sitoa myös yrityksen johto hankintaprosessiin, koska monet ohjelmistot toimivat lisäksi johdon seurantatyökaluna.

## **Tarpeen jatkuvuuden tunnistaminen**

Koko yrityksen kattavat ohjelmistot ovat aina isoja investointeja. Jos ohjelmistoa käyttää vain yksi toimiala, on syytä kyseenalaistaa ohjelmiston hankinta ja arvioida tarve uudelleen. Edelleen jos tarve hiili- ja elinkaariselvitykselle on kerta-luontoinen, on suositeltavaa harkita konsultointipalvelun käyttöä.

Ohjelmiston hankinnasta aiheutuvat kustannukset eivät rajoitu vain ohjelmiston hankintahintaan. Hankinnan lisäksi ohjelmistosta aiheutuu useita piilokuluja, joita ei tulisi unohtaa. Näitä piilokuluja ovat muun muassa ohjelmiston asennuskustannukset, yhteensovittamiskustannukset, koulutuskustannukset ja mahdolliset rekrytoinnit.

Jotta ohjelmistosta saataisiin maksimaalinen hyöty, täytyy käyttäjähenkilöstöllä olla tietoa ohjelmiston toiminnasta, ominaisuuksista ja kokemusta ohjelmiston käytöstä. Henkilöstön lisäkoulutukset ja niiden vuoksi menetetty työaika ovat selviä lisäkustannuksia, jotka on huomioitava jo ohjelmiston hankinnassa. Lisäksi on hyvä huomioida yleinen alkuvaiheen ohjelmistoon perehtyminen. Ohjelmiston käyttäjät tarvitsevat aikaa ohjelmiston parissa ja käyttökokemusta, ennen kuin ohjelmiston käyttö on tehokasta. Jos ohjelmisto hankitaan, on suotavaa luoda suunnitelma henkilöstön kouluttamisesta joko ohjelmiston toimittajan tai muun tahon kanssa.

### **Ohjelmistolta vaadittavien ominaisuuksien kartoitus**

Ohjelmistoa hankittaessa on erityisen tärkeää tunnistaa ohjelmistolta vaadittavat ominaisuudet. Kun tarvittavat ominaisuudet ovat tiedossa, voidaan ohjelmistovaihtoehdot rajata nämä ominaisuudet sisältäviin ohjelmistopaketteihin. Lisäksi turhat ominaisuudet luovat vain sekavuutta ja yleensä nostavat ohjelmiston hintaa.

Ohjelmiston hankintaa suunniteltaessa olisikin tärkeää luoda lista halutuista ominaisuuksista. Listassa tulisi luetella kaikki eri toimialojen tarvitsemat tai haluat ohjelmistolta vaadittavat ominaisuudet. Ominaisuuksien kartoittamisella kyetään valitsemaan juuri oikeanlainen ohjelmisto sille suunnattuun käyttötarkoitukseen. Merkittävimpiin ohjelmistolta vaadittaviin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat sen käyttökohde ja ohjelmiston käyttötarkoitus.

Kriittisiä ohjelmistojen valintaan vaikuttavia ominaisuuksia hiilijalanjälkiselvityksissä on saatujen *tulosten esitystapa*. Ohjelmiston antamasta tuloksesta tulisi käydä ilmi hiilijalanjäljen koostumus sekä kunkin osatekijän osuus lopullisesta hiilijalanjäljestä, jotta tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä ja suosituksia. Näiden ominaisuuksien ansiosta hiilijalanjälkiselvitykselle asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa ja saada selvityksestä maksimaalinen hyöty. Koska laskelmissa tulisi käyttää mahdollisimman paljon primääritietoja, on ensiarvoisen tärkeää, että syötteiden ja tuotosten päästökertoimia tulisi voida määrittää itse.

Muita tärkeitä ominaisuuksia, joita ohjelmistolta kannattaa vaatia, on *tietojen jäljitettävyyys*. Hyvällä jäljitettävyydellä syötteiden ja tuotosten koostumuksia voi-

daan tarkastella ja jäljittää. Esimerkiksi hyvän jäljitettävyyden omaava syöte tai tuotos sisältää tiedot mahdollisista valmistusvaiheista, kuljetuksista ja varastoinneista. Jos syöte tai tuotos ei sisällä riittävän kattavia jäljitettävyystietoja, on mahdotonta arvioida, mitä syötteeseen tai tuotokseen on sisällytetty.

Myös tärkeänä ohjelmiston valinnassa huomioitavana asiana voidaan pitää *ohjelmiston käytettävyyttä*. Ohjelmiston sujuvaan käytettävyyteen vaikuttaa merkittävästi inventaariotietojen sisäänkirjaaminen. Osassa ohjelmistoista syötteiden ja tuotosten sisäänkirjaaminen on huomattavasti työläämpää kuin toisissa ohjelmistoissa. Jos käytettyjen inventaariotietojen jäljitettävyydessä on puutteita, voi tietojen sisäänkirjauksessa esiintyä epävarmuutta, jolloin laskelman laatijalla on vaikea tehdä perusteltuja johtopäätöksiä tai suosituksia.

### **Yhteensopivuuden kartoittaminen**

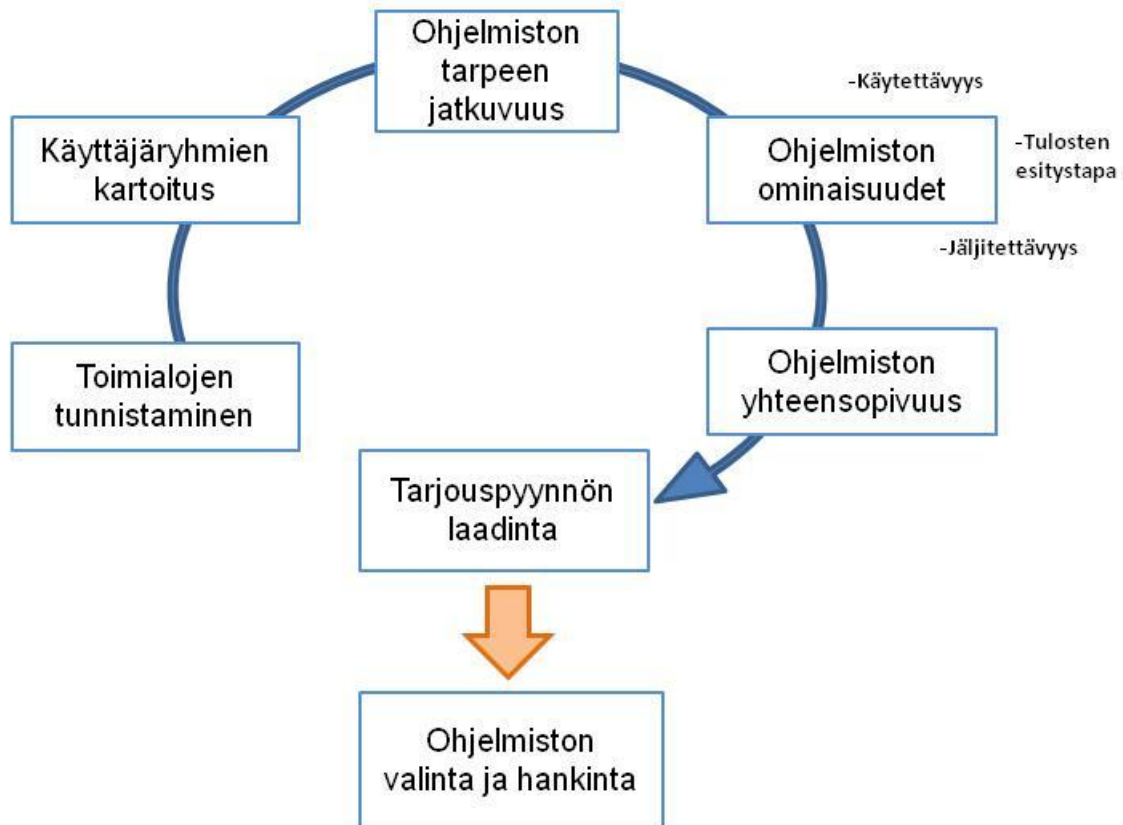
Uuden hiili- ja elinkaariohjelmiston hankinnassa on suositeltavaa ottaa yhteys yrityksen tietotekniikkapalveluihin. Tietotekniikkapalveluiden henkilöstö voi varmistaa ohjelmiston toimivuuden yrityksen muiden ohjelmistojen kanssa. (34.) Lisäksi tietotekniikkapalvelut varmistavat, sopiiko ohjelmisto yrityksen olemassa oleviin laitteisiin. Tietotekniikkapalveluiden henkilöstöt on hyvä sitouttaa ohjelmiston hankintaprosessiin, koska tietotekniikkapalveluiden henkilöstöillä on todennäköisesti jo aikaisempaa kokemusta ohjelmistojen hankinnasta, ja lisäksi he osaavat arvioida hankinta- ja käyttöönottoaikatauluja.

### **Tarjouspyynnön laatiminen**

Tarjouspyynnön laatiminen on tärkeä osa ohjelmiston hankintaprosessia (34). Tarjouspyynnössä tulisi määritellä ohjelmiston keskeisimmät halutut ominaisuudet ja vaatimukset. Tarjouspyyntö tulisi lisäksi laatia ensisijaisesti erillisen hankintatiimin toimesta. Kukin hankintatiimin jäsen on ilmoitettava edustamansa toimialan ohjelmistolta halutut ominaisuudet ja työkalut, jotta kaikkien eri toimialojen haluamat ominaisuudet kyetään liittäämään laadittavaan tarjouspyyntöön.

Jos ohjelmiston hankintaan ei ole muodostettu erillistä hankintatiimiä, tulisi kaikkien ohjelmistoa käyttävien toimialojen olla kuitenkin edustettuna tarjouspyyntöpalaverissa. Näin varmistetaan se, että tarjouspyyntöön kirjataan kaikki ohjel-

mistolta halutut ominaisuudet ja työkalut. Myös johdon tulisi osallistua tarjouspyyntöpalaveriin. Hyvin laaditun tarjouspyynnön avulla ohjelmistotoimittajat osaavat tarjota oikeanlaista ohjelmistoa. Seuraavassa kuvassa 20 on havainnollistettu hiili- ja energiaohjelmiston valintaprosessin eri vaiheita.



KUVA 20. Hiili- ja elinkaariohjelmiston valintaprosessin periaatekaavio

## 7 POHDINTA

Lähtötietomuistiossa (liite 1) esitetystä työn kuvauksesta poiketen tässä opin-  
näytetyössä keskityttiin hiili- ja elinkaariohjelmistojen ohessa myös hiilijalanjäl-  
keen. Työssä kartoitettiin hiilijalanjäljen ominaisuuksia sekä hiilijalanjäljen  
mahdollisia käyttökohteita eri teollisuuden toimialoilla hiili- ja elinkaariohjelmisto-  
jen käytön kartoittamisen sijasta. Työlle asetettujen tavoitteiden lisäksi myös  
hiilijalanjälkiselvityksen toteutukselle luotiin malli, jossa korostuvat hiilijalanjäl-  
kiselvityksessä huomioitavat asiat. Edelleen alkuperäisestä suunnitelmasta poi-  
kettiin suorittamalla ohjelmistojen valinta toimeksiantajan edustajan ja opinnäy-  
tetyön tekijän yhteistyönä.

Opinnäytetyössä ohjelmistojen vertailulle oli tasapuoliset vertailulähtökodat,  
koska laskelmien laatijalla ei ollut aikaisempaa kokemusta hiilijalanjäljestä kuin  
ei myöskään hiili- ja elinkaariohjelmistoista. Suoritetut esimerkkilaskelmat antoi-  
vatkin hyvän kokonaiskuvan hiili- ja elinkaariohjelmistojen toimintaperiaatteista.  
Laadittujen laskelmien pohjalta kyettiin tunnistamaan kunkin ohjelmiston vah-  
vuudet ja heikkoudet. Erityisen tärkeään asemaan nousi tapa, jolla ohjelmisto  
esitti saadut tulokset.

Kolmen eri hiili- ja elinkaariohjelmiston vertailun sekä suoritettujen ohjelmisto-  
kokeiden pohjalta pystyttiin kartoittamaan myös ne ohjelmistojen ominaisuudet,  
jotka ovat tärkeimpiä hiilijalanjälkiselvityksissä. Näin ollen käytännön toteutuk-  
sen ja aiheeseen liittyvien kirjallisuuslähteiden yhteenvetona kyettiin luomaan  
hiili- ja elinkaariohjelmiston valintamalli, jossa tuotiin esille ohjelmiston hankin-  
taprosessissa huomioonotettavat asiat. Suoritettujen laskelmien pohjalta kyettiin  
nimeämään lisäksi käytetyistä ohjelmistoista paras ohjelmisto hiilijalanjälkiselvi-  
tyksiin. Edelleen ohjelmistokokeet osoittivat, että laskentaohjelmistojen välillä  
voi esiintyä suuriakin poikkeavuuksia, jotka voivat johtua käytetyistä tietokan-  
noista tai ohjelmiston laskentatavoista.

Ohjelmistovertailun parhaaksi osoittautunut SimaPro oli ohjelmisto, jonka omi-  
naisuuksista muiden ohjelmistojen tulisi ottaa mallia. Ohjelmisto oli erityisesti  
kunnostautunut inventaariotietojen jäljitettävyydessä sekä tulosten esittämis-

sä. Nämä ovat juuri tärkeimpiä ominaisuuksia, joita hiilijalanjälkiselvitys asettaa hiili- ja elinkaariohjelmistoille. Tämän ansiosta SimaPro 7.3 -ohjelmistoa voidaan pitää ensisijaisena valintana kattaviin hiilijalanjälkiselvityksiin.

Ohjelmistoista positiivisen maininnan ansaitsee myös Product Ecology, joka yllätti tulosten vertailukelpoisuudellaan. Tämä selittyy sillä, että ohjelmisto käyttää samaa tietokantaa kuin SimaPro. Product Ecology ei kuitenkaan sovi täysin SimaPro-ohjelmiston korvaavaksi vaihtoehdoksi, koska se ei salli syötteiden ja tuotosten määrittämistä itse, mikä puolestaan on tärkeä ominaisuus hiili- ja elinkaariohjelmistoissa.

Koska Product Ecology toimii internet-selaimen kautta, nousee esille epäily ohjelmiston tietoturvallisuudesta. Yleensä hiilijalanjälkiselvityksissä käsitellään yrityksen sisäisiä luottamuksellisia tietoja, muun muassa prosessien toiminnallisia arvoja sekä toimintaperiaatteita. Tämän myötä herääkin kysymys siitä, kuka vastaa mahdollisista seuraamuksista, jos ohjelmiston kautta tapahtuisi tietoturvavuoto.

Ohjelmistokokeiden aikana heräsi lisäksi uusia lisätutkimuskohteita, kuten ohjelmistojen raportointiominaisuudet ja elinkaaren kustannusten seuranta. Ajan puutteen ja rajauksen ansiosta näitä kohteita ei kuitenkaan voitu tutkia tässä opinnäytetyössä. Hiilijalanjäljen käyttökohteissa toimialojen kartoituksen yhteydessä nousi myös idea uudesta tutkimuskohteesta, joka käsittäisi turvetuotannon maankäytöstä aiheutuvien kasvihuonekaasujen kartoituksen.

Opinnäytetyö saatiin suoritettua suunnitellussa aikataulussa. Kokonaisuudessaan työn tavoitteet toteutuivat pääsääntöisesti hyvin asiakasperäisiä esimerkkilaskelmia lukuun ottamatta. Tarkoituksena oli toteuttaa kolme tai jopa neljä oikealle asiakkaalle tehtävää laskelmaa, mutta lopulta vain yksi laskelmista suoritettiin todelliselle asiakkaalle. Laskentamallien erojen ja kustannusperiaatteiden ymmärtämisen tavoite toteutui hyvin, sillä työssä perehdyttiin eri ohjelmistojen mallinnuksen vaatimaan ajankäyttöön, laskelmien toteutuksen sujuvuuteen sekä kattavasti ohjelmistojen eroavaisuuksiin. Ohjelmistokokeiden ja ohjelmistojen analysoinnin pohjalta onnistuttiin lisäksi tekemään selkeä hiili- ja elinkaariohjelmiston valintamalli.

Kuten jo tämän työn johdannossakin mainittiin, ihmisten ympäristötietoisuuden kasvaminen ja sen näkyminen kulutuskäyttäytymisessä on avannut uuden markkina-alueen. Tämä puolestaan on herättänyt kysyntää erilaisille palveluille ja tuotteille, joilla kyetään seuraamaan ja kartoittamaan toiminnasta aiheutuvia päästöjä. Esimerkiksi sähköyhtiöiden etäluettaviin sähkönkulutusmittareihin voitaisiin tarjota lisäpalveluna hiilijalanjälkimittausominaisuus, joka ilmoittaisi sähkön kulutuksesta aiheutuvan hiilijalanjäljen. Tämä ominaisuus olisi verrattaen yksinkertainen toteuttaa ja näin ollen parantaisi sähköyhtiöiden palvelutasoa. Hiilijalanjälkimittausominaisuus voitaisiin liittää helposti myös esimerkiksi kaukolämmön kulutuksen seurantaan.

Kaiken kaikkiaan hiili- ja elinkaariohjelmistot ovat osa niin nykyisiä kuin tuleviaakin hiilijalanjälkiselvityksiä. Ohjelmistojen avulla hiilijalanjälkiselvitysten laadintaan saadaan nopeutta ja yhdenmukaisuutta. Ohjelmistoilla kyetään luomaan laskentamalleja monimutkaisista ja laajoistakin tuotejärjestelmistä. Hiilijalanjäljen ohessa ohjelmistot soveltuvat myös monien muidenkin ympäristöselvitysten laadintaan.

Työkaluna hiilijalanjäljellä voidaan saavuttaa säästöjä ja tehostaa prosessien toimintaa. Kestävä kehitys on nykypäivän trendi, jonka kattavuusastetta pyritään jatkuvasti nostamaan. Menetelmänä hiilijalanjälki on potentiaalinen työkalu kestävän kehityksen eteenpäin viemisessä, mutta päättäjille se on vielä vieras apuväline, jota ei toistaiseksi osata tai uskalleta myöntää tehokkaaksi optimointityökaluksi.

## LÄHTEET

- 1 Laurikka, Harri – Mirowska, Katarzyna – Niermeijer, Peter – Nykänen, Jussi – Roglieri, Mauro – Tynjälä, Tommi – Voogt, Monique 2006. Päästökauppa ja ympäristöhyödykkeiden markkinat. Helsinki: Edita Prima Oy.
- 2 SFS-EN ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi, vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- 3 PAS2050 BSI. 2008. British standards, How to assess the carbon footprint of goods and services. Saatavissa: <http://www.thegreensignal.org/images/PAS2050%20Guide.pdf>. Hakupäivä 21.12.2011.
- 4 Antikainen, Riina. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskus.
- 5 SFS -EN ISO 14025. 2010. Ympäristömerkit ja – selosteet. Tyypin III ympäristöselosteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- 6 Goedkoop, Mark – Oele, Michiel – de Schryver, An – Vieira, Marisa 2008. SimaPro 7, Database Manual, Methods library: Pré Consultants.
- 7 Loikkanen, Törsti – Mälkki, Helena – Virtanen, Yrjö – Katajajuuri, Juha-Matti – Seppälä, Jyri – Leinovonen, Jorma – Reinikainen, Asta 1999. Elinkaariarviointi yritysten ja viranomaisten ympäristöhallinnan päätöksenteon tukena. Helsinki: TEKES.
- 8 WSP Finland Yritysprofiili. 2011. WSP Finland Oy. Saatavissa: <http://www.wspgroup.com/fi/Tervetuloa-WSP-Finlandin-sivuille/WSP-Finland/Yritysprofiili/>. Hakupäivä 4.1.2012.



- 9 Staff, Adam Jolly 2008. Managing Climate Risk. Great-Britain, London: Thorogood publishing.
- 10 Pulkkinen, Hannele – Hartikainen, Hanna – Katajajuuri, Juha-Matti 2011. Elintarvikkeiden hiilijalanjäljen laskenta ja viestintä. Jokioinen: MTT
- 11 Kioton ilmastopöytäkirja. 2011. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa:  
[http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/kvmetsapolitiikka/kansainvaliset\\_sopimukset/kioton\\_ilmastopöytäkirja.html](http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/kvmetsapolitiikka/kansainvaliset_sopimukset/kioton_ilmastopöytäkirja.html). Hakupäivä 4.1.2012.
- 12 SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta 2006. Elin-kaariarviointi, periaatteet ja pääpiirteet. 2 painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- 13 Paul Edward-Jones, Brenton – Jensen, Gareth – Friis, Michael 2010. Carbon footprints and food Systems: Do Current Accounting Methodologies Disadvantage Developing Countries? Herndon, VA, USA: World Bank Publications.
- 14 World Resources Institute GHG protocol and World Business Council for Sustainable Development. 2010. GHG protocol. Saatavissa: <http://www.ghgprotocol.org/>. Hakupäivä 5.1.2012
- 15 Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2012. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/>. Hakupäivä 4.1.2012.
- 16 Benssiinikäyttöiset henkilöautot. 2011. Lipasto-laskentajärjestelmä, VTT. Saatavissa:  
<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkilootot/habens.htm>. Hakupäivä 24.1.2012.

- 17 SimaPro ohjelmisto tietokannat. 2012. Pré Consultants. Saatavissa: <http://www.pre-sustainability.com/content/databases#SimaPro%20databases>. Hakupäivä 19.1.2012.
- 18 Ecoindicator 99. 2012. Pré Consultants. Saatavissa: <http://www.pre-sustainability.com/content/eco-indicator-99/#Human%20health>. Hakupäivä 16.1.2012
- 19 Hakala, Harri – Välimäki, Jari 2003. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Suomen ympäristökeskus sekä Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd: Helsinki
- 20 Pré Consultants. 2012. SimaPro ohjelmisto, ominaisuudet. Saatavissa: <http://www.pre-sustainability.com/content/the-features-of-simapro>. Hakupäivä 5.1.2012.
- 21 Lista LCA-ohjelmistoista. 2010. Euroopan komissio. Saatavissa: <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfocenter/toolList.vm>. Hakupäivä 31.3.2012.
- 22 Smith Cooper, Joyce-Vigon Bruce 2001. Life Cycle Engineering Guidelines. Columbus Ohio: National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Saatavissa: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r01101/600R01101.pdf>. Hakupäivä 30.03.2012.
- 23 GaBi-ohjelmisto. 2012. PE International -ohjelmistotarkistus. Saatavissa: <http://www.GaBi-software.com/>. Hakupäivä 26.1.2012
- 24 BEES-ohjelmisto. 2011. National institute of standardisation and technology, Engineering Laboratory. Saatavissa: <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>. Hakupäivä 30.3.2012.

- 25 Regis-ohjelmisto. 2012. Corporate ecoperformance, Sinum Oy. Saatavissa: [http://www.sinum.com/fileadmin/user\\_upload/bilder/REGIS\\_Corporate\\_EcoPerformance\\_e.pdf](http://www.sinum.com/fileadmin/user_upload/bilder/REGIS_Corporate_EcoPerformance_e.pdf). Hakupäivä 6.2.2012.
- 26 TEAM 4.5 -ohjelmiston referenssit. 2012. Ecobilan. Saatavissa: [https://www.ecobilan.com/uk\\_references.php](https://www.ecobilan.com/uk_references.php). Hakupäivä 30.1.2012
- 27 Behm, Katri 2007. KLC-ECO 4.1 LCA-laskentaohjelmisto, Keskuslaboratorio OY – Centrallaboratorium AB. Saatavissa: [http://www.lcm2007.org/presentation/Wed\\_4.15-Behm.pdf](http://www.lcm2007.org/presentation/Wed_4.15-Behm.pdf). Hakupäivä 11.3.2012.
- 28 Waste and Resources Assessment tool for the Environment (WRATE). 2012. Environment Agency. Saatavissa: <http://www.environment-agency.gov.uk/research/commercial/102922.aspx>. Hakupäivä 31.03.2012
- 30 Product Ecology – Lifecycle Thinking by Design. 2012. WSP Product Ecology, WSP Digital. Saatavissa: <http://www.productecologyonline.com>. Hakupäivä 2.2.2012.
- 31 Kahvinkeitimen malliesimerkki. 2012. SimaPro 7.3 -ohjelmisto, ko-keiluversio. Saatavissa: <http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-demo>. Hakupäivä 15.03.2012
- 32 Rakennusfysiikka. 2012. Lämmöneristävyys, Ekovilla Oy. Saatavissa: [http://www.ekovilla.com/tuotetietoa/tuotetietoa\\_tkk\\_kpl\\_06\\_rakennusfysiikka.html](http://www.ekovilla.com/tuotetietoa/tuotetietoa_tkk_kpl_06_rakennusfysiikka.html). Hakupäivä 22.3.2012.
- 33 Knauf normaali kipsilevy KN 13. 2012. Kipsilevyn ominaisuudet, Knauf Oy. Saatavissa: <http://www.knauf.fi/tuotteet/knauf-rakennuslevyt/kipsilevyt/knauf-normaali-kipsilevy-kn-13>. Hakupäivä 22.3.2012.

- 34 Parhaat käytänteet hiili- ja energiaohjelmiston valintaan. 2011.  
WSP Finland Oy. Sisäinen materiaali.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

LIITE 1

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä<sup>1</sup> Jussi Kokko Puh: 045 128 1488 @: jussi.kokko@pp6.inet.fiTilaaaja<sup>2</sup> WSP Finland OyTilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot<sup>3</sup> Mikko Ahokas  
WSP Finland Oy, Kivimäenkatu 1D 90220 OuluTyön nimi<sup>4</sup> Hiili- ja Energia laskentaohjelmistojen soveltamisen parhaat käytännötTyön kuvaus<sup>5</sup>

- Kartoitetaan teollisuuden toimialat, jossa käytetään hiili- ja energialaskenta-ohjelmistoja
- Identifioidaan nykyinen ja tulevaisuuden tarve kyseisille ohjelmistoille
- Kerätään tieto käytettävissä olevista hiili- ja energialaskenta ohjelmistoista
- Valitaan asiakkaat eri teollisuuden toimialoilta: terästeollisuus (tuotanto), kemianteollisuus (tuote), elintarviketeollisuus (tuote), rakennusteollisuus (rakennus/tuote)
- Käytetään ”best practices for choosing software”- mallia, jota sovelletaan asiakkaalle
- Valitaan sopiva ohjelmisto
- Tehdään mallilaskennat (demo 1-4)
- Yhteenveto

Työn tavoitteet<sup>6</sup>

- Kehittää malli, jonka avulla pystytään arvioimaan paras käytäntö hiili- ja energialaskentamallien tekemiseen
- Löytää kustannustehokkaita ratkaisuja hiili- ja energialaskentaan.
- Oppia ymmärtämään laskentamallien erot ja kustannusperiaatteet.
- Oppia tekemään hiili- ja energialaskentaa eri teollisuuden aloilla.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

LIITE 1

Tavoiteaikataulu<sup>7</sup>

- Työ valmis huhtikuun loppuun mennessä
- Kirjallisuusosio (n.200h)
- Demot (n.200h)
- Varattu aika/demo 1 viikko.

Päiväys ja allekirjoitukset<sup>8</sup>

14.10.2011

Mikko Ahokas

<sup>1</sup> Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

<sup>2</sup> Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.

<sup>3</sup> Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.

<sup>4</sup> Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.

<sup>5</sup> Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.

<sup>6</sup> Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.

<sup>7</sup> Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun.

Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.

<sup>8</sup> Lähtötietomuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö

Liite 2. Taulukko yleisimmistä kasvihuonekaasuista (7, s. 26 - 27). LIITE 2/1

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1
Methane	CH <sub>4</sub>	25
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	298
<i>Substances controlled by the Montreal Protocol</i>		
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	4,750
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	10,900
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	14,400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub>	6,130
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	10,000
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7,370
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	7,140
Halon-1211	CBrClF <sub>2</sub>	1,890
Halon-2402	CBrF <sub>2</sub> CBrF <sub>2</sub>	1,640
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	1,400
Methyl bromide	CH <sub>3</sub> Br	5
Methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	146
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	1,810
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	77
HCFC-124	CHClCF <sub>3</sub>	609
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	725
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	Rev2,310
HCFC-225ca	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	122
HCFC-225cb	CHClCF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	595
<i>Hydrofluorocarbons</i>		
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	14,800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	675
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3,500
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1,430

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
HFC-143a	$\text{CH}_3\text{CF}_3$	4,470
HFC-152a	$\text{CH}_3\text{CHF}_2$	124
HFC-227ea	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	3,220
HFC-236fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	9,810
HFC-245fa	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,030
HFC-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	794
HFC-43-10mee	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	1,640
<b>Perfluorinated compounds</b>		
Sulfur hexafluoride	$\text{SF}_6$	22,800
Nitrogen trifluoride	$\text{NF}_3$	17,200
PFC-14	$\text{CF}_4$	7,390
PFC-116	$\text{C}_2\text{F}_6$	12,200
PFC-218	$\text{C}_2\text{F}_8$	8,830
PFC-318	$\text{c-C}_4\text{F}_8$	10,300
PFC-3-1-10	$\text{C}_6\text{F}_{10}$	8,860
PFC-4-1-12	$\text{C}_5\text{F}_{12}$	9,160
PFC-5-1-14	$\text{C}_6\text{F}_{14}$	9,300
PFC-9-1-18	$\text{C}_{10}\text{F}_{18}$	>7,500
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	$\text{SF}_5\text{CF}_3$	17,700
<b>Fluorinated ethers</b>		
HFE-125	$\text{CHF}_2\text{OCF}_3$	14,900
HFE-134	$\text{CHF}_2\text{OCHF}_2$	6,320
HFE-143a	$\text{CH}_3\text{OCF}_3$	756
HCFE-235da2	$\text{CHF}_2\text{OCHClCF}_3$	350
HFE-245cb2	$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CHF}_2$	708
HFE-245fa2	$\text{CHF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_3$	659
HFE-254cb2	$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CHF}_2$	359
HFE-347mcc3	$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	575
HFE-347pcf2	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_3$	580
HFE-356pcc3	$\text{CH}_3\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CHF}_2$	110
HFE-449sl (HFE-7100)	$\text{C}_4\text{F}_9\text{OCH}_3$	297
HFE-569sf2 (HFE-7200)	$\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$	59
HFE-43-10-pccc124 (H-Galden 1040x)	$\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{OC}_2\text{F}_4\text{OCHF}_2$	1,870
HFE-236ca12 (HG-10)	$\text{CH}_2\text{OCF}_2\text{OCHF}_2$	2,800
HFE-338pcc13 (HG-01)	$\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{OCHF}_2$	1,500
<b>Perfluoropolyethers</b>		
PFPME	$\text{CF}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{OCF}_3$	10,300
<b>Hydrocarbons and other compounds – direct effects</b>		
Dimethylether	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	1
Methylene chloride	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	8.7
Methyl chloride	$\text{CH}_3\text{Cl}$	13